



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA  
SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE  
CORROSIÓN PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE  
LA ESPOCH**

Trabajo de titulación presentado para optar por el grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES: ELIZABETH CAROLINA SCHMIEDL BRICEÑO**

**FREDDY JAVIER AUDELO GUEVARA**

**TUTORA: ING. MABEL PARADA**

Riobamba-Ecuador

2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación tecnológico: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA ESPOCH, de responsabilidad de los señores Elizabeth Carolina Schmiedl Briceño y Freddy Javier Audelo Guevara, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Mabel Parada

DIRECTORA DE TRABAJO

DE TITULACIÓN

\_\_\_\_\_

Ing. Mario Villacrés

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Elizabeth Carolina Schmiedl Briceño y Freddy Javier Audelo Guevara, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 26 de Enero del 2017

Elizabeth Carolina Schmiedl Briceño

Cedula de Identidad: 171604977-8

Freddy Javier Audelo Guevara

Cedula de Identidad: 060335609-8

Yo, Elizabeth Carolina Schmiedl Briceño y Freddy Javier Audelo Guevara somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Elizabeth Carolina Schmiedl Briceño

---

Freddy Javier Audelo Guevara

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación está dedicado con mucho cariño a mis padres que me apoyaron siempre y también a mis hermanos que me dieron un motivo más para seguir adelante aun cuando aparecieron los obstáculos en el proceso de la culminación de esta etapa de mi vida.

Elizabeth

El presente trabajo de titulación está dedicado a toda mi familia que ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, principalmente a mis padres y hermanos que siempre me han apoyado, y por último a esos verdaderos amigos con los que compartimos todos estos años.

Freddy

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero hacer un agradecimiento especial a Dios y a mi familia quienes me han acompañado y colaborado toda mi vida.

A mis más cercanos amigos que me ayudaron y dieron aliento en los momentos adversos.

Y a todas las personas que directa o indirectamente han aportado de cualquier manera a la culminación de esta etapa en mi vida.

Elizabeth

El agradecimiento primeramente a Dios y a mis padres que me brindaron su confianza y apoyo a lo largo de mi carrera.

A mi novia y amigos por el aliento que supieron transmitirme durante el proceso del presente proyecto.

Freddy

## TABLA DE CONTENIDOS

### Contenido

RESUMEN.....	xii
--------------	-----

SUMARY .....	xii
--------------	-----

### CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
----------------------	---

1.1 Identificación del problema.....	1
--------------------------------------	---

1.2 Justificación del proyecto .....	2
--------------------------------------	---

1.3 Línea base del proyecto.....	3
----------------------------------	---

1.3.1 <i>Antecedentes del Proyecto</i> .....	3
--	---

1.3.2 <i>Importancia del proyecto</i> .....	4
---	---

1.3.3 <i>Aplicaciones de la Cámara de Niebla Salina</i> .....	4
---	---

1.3.4 <i>Marco conceptual</i> .....	5
-------------------------------------	---

1.4 Beneficiarios directos e indirectos .....	18
---	----

### CAPITULO II

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	19
--------------------------------	----

2.1 General.....	19
------------------	----

2.2 Específicos.....	19
----------------------	----

### CAPITULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO .....	20
-------------------------	----

3.1 Localización del proyecto .....	20
-------------------------------------	----

3.2 Ingeniería del proyecto .....	21
-----------------------------------	----

3.2.1 <i>Determinación de las variables de proceso</i> .....	21
--	----

3.2.2 <i>Cálculos de ingeniería y selección de materiales para el diseño y construcción del equipo</i>	29
--	----

3.3 Proceso de producción .....	61
---------------------------------	----

3.3.1 <i>Preparación de las muestras</i> .....	61
--	----

<b>3.3.2 Preparación de la solución</b> .....	62
<b>3.3.3 Instrucciones para el uso de la cámara de niebla salina.</b> .....	63
<b>3.3.4 Validación de la cámara de niebla salina</b> .....	65
<b>3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria</b> .....	74
<b>3.5 Análisis de Costo/beneficio del proyecto</b> .....	75
<b>3.6 Cronograma de ejecución del proyecto.</b> .....	79
<b>CONCLUSIONES</b> .....	80
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	82
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-3:</b> Localización ESPOCH.....	21
<b>Figura 2-3:</b> Simulación del ensayo de niebla salina.....	22
<b>Figura 3-3:</b> Cámara de exposición simulada.....	23
<b>Figura 4-3:</b> Generación de la niebla en la simulación.....	23
<b>Figura 5-3:</b> Control de temperatura en las pruebas .....	24
<b>Figura 6-3:</b> Muestras listas para el ensayo simulado .....	25
<b>Figura 7-3:</b> Antes y después del Ensayo 1 .....	26
<b>Figura 8-3:</b> Antes y después del ensayo 2.....	27
<b>Figura 9-3:</b> Antes y después de la prueba 3 .....	28
<b>Figura 10-3:</b> Estructura del equipo .....	33
<b>Figura 11-3:</b> Cuerpo de la cámara de exposición.....	34
<b>Figura 12-3:</b> Tapa de la cámara de exposición .....	39
<b>Figura 13-3:</b> Puerta de la cámara de exposición .....	40
<b>Figura 14-3:</b> Difusor de aire.....	40
<b>Figura 15-3:</b> Humidificador .....	41
<b>Figura 16-3:</b> Tanque auxiliar de solución .....	42
<b>Figura 17-3:</b> Tapa del tanque auxiliar.....	43
<b>Figura 18-3:</b> Tanque principal de solución .....	44
<b>Figura 19-3:</b> Resistencia eléctrica.....	47
<b>Figura 20-3:</b> Ventilador del sistema de calefacción.....	47
<b>Figura 21-3:</b> Sistema de generación de niebla .....	48
<b>Figura 22-3:</b> Compresor de aire .....	49
<b>Figura 23-3:</b> Filtro de aire .....	50
<b>Figura 24-3:</b> Cubierta externa de la Cámara de Niebla Salina.....	51
<b>Figura 25-3:</b> Aislante Térmico aluminizado .....	52
<b>Figura 26-3:</b> Sensores de temperatura y humedad .....	53
<b>Figura 27-3:</b> Electroválvula .....	54
<b>Figura 28-3:</b> Esquema del panel de control .....	55
<b>Figura 29-3:</b> Diagrama del soporte de muestras .....	57
<b>Figura 30-3:</b> Ubicación del ducto de desagüe y aireación .....	58
<b>Figura 31-3:</b> Filtro de malla de plástico.....	59
<b>Figura 32-3:</b> Dimensionamiento general del equipo.....	60
<b>Figura 33-3:</b> Cámara de niebla Salina.....	61
<b>Figura 34-3:</b> Validación estudiantes de Octavo semestre IQ. ESPOCH.....	65
<b>Figura 35-3:</b> Antes y después muestras de validación de equipo.....	66

<b>Figura 36-3:</b> Muestras en el soporte de especímenes.....	68
<b>Figura 37-3:</b> Variables controladas en equipo real .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b> Localización ESPOCH .....	20
<b>Tabla 2-3:</b> Datos de experimentos a escala de laboratorio .....	28
<b>Tabla 3-3:</b> Partes de la cámara de niebla salina .....	30
<b>Tabla 4-3:</b> Características generales del acero inoxidable .....	32
<b>Tabla 5-3:</b> Características de silicona Sikaflex-256 .....	36
<b>Tabla 6-3:</b> Características generales del vidrio templado .....	37
<b>Tabla 7-3:</b> Datos de calibración de la presión .....	50
<b>Tabla 8-3:</b> Datos experimentales validación de la cámara de niebla salina .....	66
<b>Tabla 9-3:</b> Datos experimentales determinación de corrosión por pérdida de peso.....	67
<b>Tabla 10-3:</b> Resultados de validación de la cámara de niebla salina .....	70
<b>Tabla 11-3:</b> Resultados de la Práctica de la determinación de grado de corrosión .....	70
<b>Tabla 12-3:</b> Comparación entre simulación, validación y práctica de laboratorio.....	72
<b>Tabla 13-3:</b> Presupuesto general para la construcción del equipo .....	75
<b>Tabla 14-3:</b> Presupuesto para la operación del equipo.....	77

## RESUMEN

En este proyecto se diseñó y construyó una Cámara de Niebla Salina mediante la norma ASTM B-117 para ensayos de corrosión para la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH. La cámara de exposición y su tapa están construidas por vidrio templado de 5 mm color negro. Se utilizó un compresor silencioso de 3/4 Hp para la generación de la niebla, al que se le acopló un filtro. Seguido a este, se encuentra un humidificador, que le dará humedad al aire comprimido. El sistema de calefacción consta de una resistencia tubular y un ventilador metálico para la circulación de aire caliente alrededor de la cámara. El soporte de las muestras y el tanque auxiliar de solución se construyeron de acrílico de 4 mm para soportar las condiciones dentro de la cámara. El nivel de solución es controlado gracias a sensores tipo flotador, los mismos que suplirán continuamente de solución para generar la niebla. Se realizó una automatización general del equipo para minorar la intervención humana durante la prueba. Finalmente se realizó una prueba con los estudiantes del octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, que se basó en el seguimiento de una técnica de laboratorio para verificar el correcto funcionamiento del mismo. La funcionalidad del equipo es totalmente fiable ya que a las 24 horas de trabajo ya se obtuvieron resultados visibles. Para realizar el proyecto se determinó las variables más importantes que se controlaron en todo el proceso de diseño y construcción de la Cámara de Niebla Salina, para obtener resultados óptimos en el proceso del funcionamiento del equipo. Se debe utilizar la Cámara de Niebla Salina por un máximo de 3 días (72 horas) por prueba, tiempo suficiente para la obtención de resultados visibles, sin necesidad de sobre esforzar el equipo.

**Palabras clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <CORROSIÓN>, < NIEBLA SALINA>, < NORMA ASTM B-117>, <ENSAYO ACELERADO>

## SUMMARY

In this Project Mist Chamber was designed and built through the norm ASTM B-117 for corrosion tests for Chemical Engineering career of ESPOCH. The exposure chambers and its cover are built by a black tempered glass of 5 mm. A noiseless compressor was used of 3/4 Hp for mist-generation al which a filter was coupled. Followed to this, a humidifier is found that will give humidity to the compressed air. The heating system consists of a tubular resistance and a metal ventilator for the hot air circulation around of chamber. The sample holder and the auxiliary tank of solution were built of 4 mm acrylic in order to support the conditions into the chamber. The solution level is controlled thanks float type sensors, the same that continuously will supply for generating mist. An overall automatization of equipment was done in order to minimize the human intervention during the test. Finally, a test was carried out with students of eighth term of Chemical Engineering of ESPOCH, that was based on a lab technique in order to verify the proper operation of the same. The functionality of equipment is totally reliable because al 24 hour of work, visible results were obtained. With the aim of carrying out the project the most important variables were determined at the same time that were controlled in all designing and building process of Saline Mist Chamber, for getting optimal results in the equipment functioning process. The Saline Mist Chamber should be used by three days maximum (72 hours) per test, enough time for obtaining visible results, without necessity of over strive the equipment.

Key words: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <CORROSION>, <SALINE MIST>, <NORM ASTM B117>, <ACCELERATED TEST>.

## **CAPITULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Identificación del problema**

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo es una institución ecuatoriana de Educación Superior, con sede central en la ciudad de Riobamba, Panamericana Sur km 1 ½, la cual tiene como una de sus carreras la Ingeniería Química en la que se forma profesionales aptos para cualquier ámbito industrial.

En esta carrera se imparte cátedras como Corrosión, por lo que se ha detectado que en esta materia no se cuenta con equipos para llevar a la práctica los conocimientos teóricos, donde se realicen ensayos de corrosión acelerada, con el propósito de evaluar las propiedades anticorrosivas de varios recubrimientos y materiales utilizados en las diferentes industrias, y así los estudiantes de esta materia puedan tener un enfoque más amplio acerca de los diferentes temas que se traten mediante la experimentación en varias condiciones.

Las cámaras de niebla salina son muy necesarias en cualquier institución e industria con el fin de dar paso a la experimentación del tema de corrosión y se realizan generalmente basadas en la norma ASTM B-117 en la que nos especifica las partes, procedimientos y condiciones requeridos para crear una cámara de niebla salina para una adecuada realización del ensayo. Ya que por una mala decisión, al momento de elegir un equipo de acuerdo al ambiente a exponer y los materiales de éste, se ha reducido considerablemente la vida útil y generado pérdidas cuantiosas en el tiempo y dinero invertido en aquel proceso.

Estos equipos son muy utilizados en distintas universidades como la Universidad de Pamplona en Colombia, la Universidad Tecnológica de Pereira y la Universidad San Francisco de Quito, las que se han realizado mediante temas de tesis. Y en nuestra Facultad no existe un equipo de estos que eviten que nuestros ingenieros químicos se gradúen con un vacío en su perspectiva de los materiales más usados en la industria, los cuales se exponen a un ambiente altamente corrosivo según sea el caso.

## **1.2 Justificación del proyecto**

La ejecución de este proyecto se basa en la necesidad inminente de obtener un enfoque más amplio del comportamiento ante la corrosión de distintos materiales y recubrimientos que se utilizan en diferentes industrias, para que el estudiante tenga más experiencia al momento de aplicar su opinión en la utilización de cierto material de acuerdo a la industria y al ambiente que se va a exponer, ya que se estima que los gastos atribuidos a los daños por corrosión son muchos. La corrosión va deteriorando progresivamente varios metales, a los que si no se los trata a tiempo puede generar la destrucción completa, llevando a cabo una sustitución total del equipo y por ende causando pérdidas de millones de toneladas de metales anualmente y pérdidas en la economía de las industrias. Además de esas pérdidas, los óxidos formados por la corrosión pueden contaminar los productos de distintas industrias y que igualmente generan gastos.

Entre los ensayos para determinar el comportamiento de materiales y recubrimientos ante la corrosión, la CÁMARA DE NIEBLA SALINA es la mejor opción, porque permite desarrollar una nueva modalidad de ensayo, para la comparación de los materiales y sus recubrimientos, ya que la misma permite dar una referencia confiable sobre la resistencia al fenómeno corrosivo de uno u otro material que se exponga al ambiente producido dentro de la cámara de niebla salina.

Este tipo de equipo es una herramienta didáctica y fundamental en el aprendizaje de la cátedra de corrosión y al no contar con éste en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, específicamente en la carrera de Ingeniería Química, no se puede complementar los conocimientos teóricos impartidos en la materia antes mencionada.

La justificación de este proyecto es que brindará un recurso muy importante para la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, porque da la oportunidad al sector estudiantil de conocer y aplicar técnicas nuevas mediante la experimentación, ante el fenómeno de la corrosión generada en ambientes marítimos, de contaminación urbana e industriales, y obtener una visión más amplia acerca de cómo afecta ésta en distintos metales y recubrimientos.

### **1.3 Línea base del proyecto**

La corrosión es un fenómeno que se puede definir como la alteración de un material a causa de un ataque químico o electroquímico, debido a la interacción que tiene éste con el medio que lo rodea, ataque que produce el deterioro de sus propiedades físicas y químicas. Este fenómeno ha existido desde el principio de los tiempos generando daños y pérdidas económicas incluso hasta la actualidad, en la que se ha agudizado por los factores climáticos y contaminación generada en los lugares en los que se exponen los materiales, las cuales por el incremento de las industrias y por la necesidad de mejorar o adaptar nuevos procesos se modifican los ambientes, incluyendo la lluvia ácida, aumentando así la preocupación por este fenómeno. Por esta razón uno de los métodos más didácticos y rápidos para la comprobación de los materiales en ciertos ámbitos corrosivos es la cámara de niebla salina.

#### ***1.3.1 Antecedentes del Proyecto***

A causa del daño generalizado que la corrosión ha producido desde hace muchos años, la necesidad de estudiar el material que se utilizaría en algún tipo de industria es cada vez más importante, así en 1914 el Ingeniero J.A Capp; entonces Director de la “National Bureau of standards”, reprodujo de forma acelerada la corrosión en ciertos materiales, concluyendo que el agua de mar pulverizada corroía más rápido que el agua de mar en condiciones normales. Luego de varias modificaciones a la prueba en 1939 se creó la norma ASTM B-117. Durante la década de los 40 se utilizó esta prueba; sin embargo, se tuvo muchos problemas ya que la norma no definía ciertos parámetros y la interpretación de los resultados se hacían de acuerdo a la objetividad de los usuarios.

“Luego de la segunda guerra mundial en 1955 la prueba se refinó lo más posible llegando a la estandarización. En la década de los 50 aparece otro problema debido a que los ensayos no eran reproducibles; entonces la ASTM “American Society for Testing and Materials” y diversos grupos industriales se dedicaron a hacer estudios para eliminar este problema y fue cuando se encontraron que al realizar pruebas en parachoques de automóviles y partes plateadas habían diferencias de 22 a 296 semanas, con materiales de las mismas características. Debido a los resultados obtenidos se concluyó que la prueba de niebla salina era imprecisa en partes cromadas.”(FERRER, y OTROS, 2015: a, pág. 20)

“La “Copper Accelerated Salt Spray Test (CAAS)” Fue desarrollada y adoptada por la ASTM para ensayos de partes Cromo – plateadas de aleaciones de Zinc. Ya que se ratificó que la prueba de



niebla salina no reproduce los mismos resultados para este tipo de recubrimientos, algo similar ocurrió con los ensayos hechos a piezas fabricadas en aluminio y superficies pintadas.” (FERRER, y OTROS, 2015: b, pág. 20)

“La norma ASTM B117-11 no cumple con la reproducción de los ambientes naturales, ya que las probetas (especímenes) de prueba, están constantemente húmedos, sin pasar por ciclos secos. Estos eventos no se dan en el campo real, y adicionalmente la temperatura de la cámara es constante y demasiado elevada, el cloruro contenido en la sustancia salina es muy alto e impide que el zinc forme una película pasiva, lo que conlleva a que las condiciones dentro de la cámara sean muy severas y que rara vez ocurran en el campo. A pesar de los innumerables ensayos que se han hecho y evaluaciones a diversas pruebas, así como diferentes modificaciones, el ensayo de niebla salina, según norma ASTM B-117-11 es considerado de gran ayuda en el sector industrial y científico, determinando el comportamiento de los metales en ambientes corrosivos y logrando de esta manera cuantificar su resistencia a la falla.” (FERRER, y OTROS, 2015: c, pág. 21)

### ***1.3.2 Importancia del proyecto***

La implementación de la Cámara de niebla salina en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, dará a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química; y demás estudiantes que tengan una relación con su carrera y este fenómeno, un amplio conocimiento con respecto a los materiales que resisten mejor a diferentes ambientes corrosivos, esto obtenido mediante la experimentación.

Se podrá comparar también los metales expuestos con un recubrimiento específico, dando una idea clara de las posibilidades a resistir a la corrosión, tomando así la mejor decisión al momento de elegir un material para el diseño de un equipo o planta expuesto a cierto ambiente y operaciones que se lleven en el mismo.

### ***1.3.3 Aplicaciones de la Cámara de Niebla Salina***

El uso de la cámara de niebla salina es muy amplio en cualquier tipo de industria, en la cual se realiza ensayos acelerados de corrosión duplicando el tiempo de ocurrencia de este fenómeno en un laboratorio para proveer a los científicos e ingenieros, medios para el desarrollo de nuevos productos como recubrimientos metálicos, recubrimientos de pinturas, tratamientos químicos, etc. (ENSAYO DE NIEBLA SALINA, 2007. pags 1-5)

Gracias a la prueba de Cámara de Niebla Salina, se puede someter a los metales a un análisis de sus propiedades y características para comprobar si son ideales para cierto tipo de ambiente, evitando fallas a causa de la corrosión como la fuga de gases, fracturas de partes metálicas o estructuras, contaminación por los productos derivados de la corrosión, entre otros. Comprobando de esta forma si el material es o no aplicable a las exigencias del diseño de la operación y ambiente al que va a trabajar.

Con este equipo se busca el complemento experimental para el Laboratorio de Reacciones y Corrosión de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ofreciendo el fortalecimiento de la docencia e investigación a los futuros profesionales para una correcta aplicación de diseño de plantas y equipos sometidos a un cierto tipo de función agresiva.

#### ***1.3.4 Marco conceptual***

Antes de diseñar y construir la cámara de niebla salina es necesario conocer ciertos conceptos básicos que ayudarán al entendimiento y correcta aplicación de los mismos para la elección oportuna de los materiales y construcción del equipo.

##### ***1.3.4.1 Impacto económico de la corrosión en la industria***

La corrosión en la industria posee un impacto muy grande en el sentido económico, ya que genera pérdidas directas e indirectas. Las pérdidas directas se refieren a los costos por cambios de estructuras, maquinas, equipos o componentes de un proceso que puedan quedar inservibles a causa de este fenómeno. En cambio las perdidas indirectas son las que tienen que ver con la parada de la producción, contaminación de los productos, reducción notable de la eficiencia, por sobredimensionamiento (reactores químicos) y por accidentes derivados de la corrosión, como la muerte de un operario. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 21)

Se estima que la corrosión genera del 2-4% de pérdidas del producto interno bruto (PIB) de un país, tomando en cuenta el grado de subdesarrollo, la humedad, y la salinidad ambiental. (DOMINGUEZ, 1987 págs. 10-11) Actualmente un estudio realizado por la NACE (National Association of Corrosion Engineers) llamado "Medidas Internacionales de Prevención, Aplicación y Economía de la Tecnología de la Corrosión (**IMPACTO**)" han estimado que el costo del daño de

la corrosión a nivel mundial 2,5 billones de dólares que equivalen actualmente al 3,4 % del PIB. (2016)

#### *1.3.4.2 Corrosión*

Según Otero la corrosión puede definirse como: “la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante con el consiguiente deterioro de sus propiedades.” (OTERO HUERTA, 2012 pág. 20)

#### *1.3.4.3 Tipos de Corrosión*

De los diferentes tipos de corrosión que existen, se debe poner atención en dos tipos específicos que son los que pueden ocurrir al exponer un material dentro de la cámara de niebla salina dándose el desgaste total o parcial que disuelve o ablanda cualquier sustancia por reacción química o electroquímica con el medio ambiente:

##### **a) Corrosión Química**

La corrosión química o directa, se da cuando un material es expuesto o sumergido directamente en líquido corrosivo, se disuelve y se seguirá disolviendo hasta que se consuma totalmente al metal o se sature el líquido.

Las aleaciones base cobre desarrollan un barniz verde a causa de la formación de carbonato e hidróxidos de cobre, esta es la razón por la cual la Estatua de la Libertad se ve con ese color verduzco. (OTERO HUERTA, 2012. Pág 34)

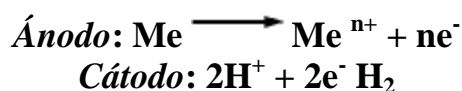
##### **b) Corrosión electroquímica**

Este tipo de corrosión es la más frecuente y comprende la corrosión atmosférica en aire húmedo, la producida en suelos, la provocada por medios electrolíticos (agua de mar, soluciones acidas, sales y alcalinas) y por sales fundidas. A diferencia de la corrosión química esta se da por una diferencia de potencial en los metales.

Este fenómeno ocurre, si y solo si, se tiene un electrolito, un ánodo y un cátodo. Una reacción de oxidación es una reacción anódica, es decir, el ánodo libera electrones y se dirigen al cátodo, ocasionando que el primero pierda electrones y por lo tanto se corroe y el segundo presente una ganancia de electrones y en su defecto se proteja. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción química, la velocidad a la que el material se corroe dependerá del medio que lo rodee, parámetros como la temperatura, salinidad del electrolito y propiedades químicas de los materiales son de vital importancia a la hora de analizar fenómenos de corrosión.

La corrosión de naturaleza electroquímica resulta de la formación sobre la superficie metálica de multitud de zonas anódicas y catódicas; el electrolito es, en caso de no estar sumergido o enterrado el metal, el agua condensada de la atmósfera, para lo que la humedad relativa deberá ser del 70%.(OTERO HUERTA, 2012. págs. 35-38)

Las reacciones que tienen lugar en las zonas anódicas y catódicas son las siguientes:



Además de estos tipos de corrosión, según Fontana M. la corrosión puede darse en ocho diferentes formas, de las cuales se hará una breve descripción a continuación: (FONTANA MARS, 1978 págs. 215-322)

#### **a) Corrosión uniforme**

La corrosión Uniforme es un fenómeno que se presenta de manera igualitaria sobre toda la superficie corroída, siendo aproximadamente igual la penetración en todos los puntos de la pieza, siendo fácilmente la estimación de vida útil de este metal ya que se presenta una relación directa entre la pérdida del material, reducción de espesor y la gravedad del fenómeno. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 26)

#### **b) Corrosión galvánica.**

Este tipo de corrosión es el más común dentro de los tipos de corrosión y se produce cuando dos metales distintos se unen de forma eléctrica en presencia de un electrolito, causando el desprendimiento de electrones de la superficie del metal que actúa como polo negativo de la pila. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 110)

### **c) Corrosión en espacios confinados**

La corrosión en resquicio se produce generalmente en uniones, zonas de solapes, intersticios, zonas roscadas, etc. Este tipo de ataque se debe a la formación de pilas de aireación diferencial (OTERO HUERTA, 2012 pág. 27), producidas a causa de diferentes presiones parciales de oxígeno en algunas partes de la pieza, siendo así el ataque en las zonas menos aireadas.

### **d) Corrosión por picaduras**

La corrosión por picadura se da por la localización puntual del daño en el metal, su tamaño no suele superar los 2 mm<sup>2</sup> de diámetro, pero penetra hasta el fondo del metal formando túneles con mucha rapidez.

Generalmente este tipo de corrosión se presenta en materiales metálicos pasivables, ya que suele empezar por la rotura local de la película pasiva. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 142)

### **e) Corrosión Intergranular**

Este tipo de corrosión se produce específicamente en los límites del grano del metal, lo que ocasiona una pérdida de coherencia entre granos y por ende la disminución de las propiedades mecánicas del metal. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 162)

### **f) Corrosión por lavado selectivo**

La corrosión por lavado selectivo actúa principalmente dañando a los metales nobles como oro-cobre plata-cobre, forma una capa parecida al metal en los lugares afectados haciendo así que la detección de la corrosión sea muy difícil. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 26)

### **g) Corrosión por erosión**

La corrosión por erosión se da cuando el agente corrosivo acelera su forma de atacar al metal por causa de un movimiento mecánico en la pieza afectada. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 128)

### **h) Corrosión bajo esfuerzos**

Mayormente producida en aleaciones; ya que es muy raro que ocurra en metales puros, al ser sometidas a tensiones mecánicas junto a un ambiente altamente corrosivo. Se presenta como fisuras

que siguen a la línea natural de la tensión aplicada, desplazándose muchas veces a través del grano del metal. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 196)

#### *1.3.4.4 Protección contra la corrosión*

Para proteger los metales contra el fenómeno de la corrosión no existe un método efectivo que la elimine, ya que es imposible, en su lugar lo único que podemos hacer es retardarla, para esto existen muchos métodos de los cuales vamos a explicar brevemente los más importantes. (DOMINGUEZ, 1987 pág.1)

##### **a) Recubrimientos**

Los recubrimientos básicamente actúan como una barrera entre el ambiente corrosivo y el material expuesto, aislando el metal y evitando la acumulación de óxido en la superficie. Este método es el más utilizado, y aun así es el que más mantenimiento necesita, ya que las pinturas se degradan fácilmente. (DOMINGUEZ, 1987 pág.4)

##### **b) Protección catódica**

La Protección catódica es un método ampliamente aceptado, el cual utiliza a un metal, como recubrimiento, forzándolo a ser el cátodo de la celda corrosiva del material que vamos a proteger; es decir, se recubrirá con un metal que se corroe más fácilmente para que esta capa protectora se oxide antes que el material protegido. (SMITH, y otros, 2004 pág. 765) Un ejemplo muy común es cubrir a un metal con zinc, convirtiéndolo en un ánodo de sacrificio, ya que se corroerá primero protegiendo al metal en cuestión. Para este tipo de protección se pueden utilizar dos métodos:

- Ánodo de sacrificio
- Corriente impresa

##### **c) Protección anódica**

Este tipo de protección es muy similar a la catódica ya que se trata de recubrir un metal con una fina capa de óxido para que éste no sufra el fenómeno de la corrosión, como lo que sucede con el aluminio, que al ser expuesto al aire automáticamente forma una capa de óxido que lo hace resistente a la corrosión.

La capa de óxido debe ser de un óxido especial que se adhiera firmemente al metal si no, no serviría de nada. (SMITH, y otros, 2004 pág. 765)

**d) Recubrimientos metálicos**

Este método de protección consiste en cubrir el metal de importancia con una fina capa de otro metal, el cual lo aísla del ambiente corrosivo, actuando como ánodo de sacrificio para que se corroa en vez del metal cubierto.

**e) Recubrimientos inorgánicos**

El vidrio y la cerámica son materiales inorgánicos, con los cuales se puede hacer un recubrimiento muy efectivo contra el fenómeno de la corrosión, haciendo también éste la estructura más tersa y duradera. Aun así, si se expone un lugar anódico puede corroerse, pero ésta es muy fácil de localizar, pudiendo arreglar el problema de manera rápida. (SMITH, y otros, 2004 pág. 765)

**f) Recubrimientos orgánicos**

Dentro de los recubrimientos orgánicos se pueden mencionar: las pinturas, lacas, barnices, entre otros. Los cuales han funcionado efectivamente en contra de los procesos de corrosión, dando una especie de fina barrera al metal que lo separa del ambiente corrosivo. Este método es uno de los más efectivos en contra de este fenómeno, pero debe ser muy bien elegido ya que hay procesos en los que se usan sustancias que pueden disolver o dañar al recubrimiento. (SMITH, y otros, 2004 pág. 766)

*1.3.4.5 Ensayos de corrosión*

El conocer la durabilidad y resistencia de un material frente al fenómeno de corrosión es vital para el diseño de un sistema o equipo, y por esta razón se implementan ensayos controlados de corrosión de acuerdo al ambiente al que se va a exponer el material, puesto en condiciones controladas y repetitivas. Y la obtención de resultados de estos ensayos son más demoradas y poco controladas, por lo que son los menos usados. (ÁVILA , y otros, 1987)

Para realizar estos ensayos de prueba, se puede realizar de manera natural o a escala de laboratorio, siendo los primeros una manera más directa de exponer el metal a las condiciones reales que va a

soportar durante su vida útil, en cambio los ensayos realizados en laboratorios, son más controlados de acuerdo a la función que se le va a dar dentro del proceso u operación y a nuestra conveniencia.

## **ENSAYOS NATURALES**

Los ensayos naturales son más visibles pero sus resultados se ven luego de periodos muy largos de tiempo, ya que los factores de corrosión demoran en activarse.

### **a) Ensayos en atmosfera**

Para este tipo de ensayos se debe conocer con exactitud los parámetros que influyen en la aparición de la corrosión: temperatura del ambiente, humedad presente, radiación solar y del suelo, impurezas, estación del año, etc.

Es necesario ubicar la muestra en un lugar que no haya interferencias con el ambiente que se ha determinado para el ensayo, incluyendo vapores o gases y se debe medir con frecuencia los factores más importantes dentro del proceso de corrosión. (ÁVILA , y otros, 1987)

### **b) Ensayos en agua**

Los ensayos realizados en agua son controlados con menos variables que las pruebas en la atmosfera, lo único que podría dar problemas es la perdida de muestras en el agua, ya que generalmente se trabaja con corrientes de agua muy fuertes, y si se trabaja en agua de mar se toma en cuenta el secado y humedecido de las muestras por la subida y bajada de la marea. (CHAMPION, 1970)

### **c) Ensayos en suelo**

Para obtener resultados fiables de este tipo de ensayos es necesario reproducir el ambiente real lo más exacto posible, exponiendo la pieza al medio agresivo con el que se espera trabajar. Las piezas no deben llegar a más de 1 metro de largo ya que es improbable que las condiciones sean iguales a las esperadas, más allá de esa longitud, igualmente los cuerpos huecos deben ser sellados pos ambos lados para evitar alteraciones en los resultados.

Para llevar a cabo estos ensayos, se debe tener especial cuidado en la remoción del suelo para enterrar las probetas evitando alguna alteración. (ÁVILA , y otros, 1987)



## **ENSAYOS DE LABORATORIO**

Los ensayos de laboratorio se realizan con el fin de acelerar los procesos oxidativos que se presentan con mayor frecuencia en el ambiente, ya que estos son los responsables de la mayoría de daños en los metales, aun así, estos ensayos no contemplan todas las variables, pues serían muy compleja la interpretación de resultados. (NOTE GALVINFO, septiembre 2007)

### **a) Ensayos de niebla**

Básicamente los ensayos de niebla se tratan de la pulverización de la solución corrosiva por medio de aire comprimido, el cual la convierte en finas gotas que se posan en la muestra a estudiar. (ASKELAND, y otros, 2004)

### **b) Ensayos de inmersión alterna**

Los ensayos de inmersión alterna reproducen el proceso oxidativo que se da en el ambiente exponiendo el material al sol y la lluvia; es decir, en el laboratorio se exponen las muestras por un tiempo a la inmersión en agua destilada, de grifo o en solución a un cierto porcentaje de NaCl, y luego se someten a la evaporación de esa solución de manera lenta secándose en el aire, dando un proceso de corrosión similar al atmosférico. (ASKELAND, y otros, 2004)

### **c) Ensayos de inmersión continua**

Este tipo de ensayos se realizan para probar la resistencia de un material en un medio acuoso. Para esto se utilizan recipientes de vidrio, las que contienen la solución corrosiva y en la que se va a suspender, dentro de ellas, las probetas a exponer. Cuando se desea experimentar sin oxígeno se cierran herméticamente estos recipientes para evitar el contacto de la pieza con este gas.

El procedimiento habitual para estos ensayos dice que se debe mantener la pieza sumergida totalmente y que el nivel del líquido este aproximadamente unos 30 mm por encima del borde superior de la muestra, para que haya una distribución equitativa del oxígeno en el agua. (ASKELAND, y otros, 2004)

### **d) Métodos electroquímicos**

Los métodos electroquímicos son frecuentemente usados en la experimentación con el fenómeno corrosivo, ya que la corrosión en medios acuosos se produce por medio de un proceso electroquímico, además la obtención de resultados se da en un corto periodo de tiempo y de acuerdo a la simulación del ambiente de interés. No obstante, se debe tener un amplio conocimiento de las variables a controlar, para tener un correcto y especializado proceder de la prueba. (OTERO HUERTA, 2012 pág. 34) Algunos de los ensayos electroquímicos que se pueden mencionar están:

- Medidas de potencial contra tiempo.
- Medidas de la intensidad de corriente contra tiempo.
- Medidas de potencial / corriente contra tiempo

#### *1.3.4.6 Interpretación de resultados de ensayos de corrosión*

Para dar una interpretación a los resultados de los ensayos de corrosión se debe observar las variaciones de la superficie del metal y, muchas veces también, del agente corrosivo.

- **Superficie del metal:** Es el medio de interpretación más usualmente utilizado, ya que observar a simple vista la superficie del material se puede juzgar de manera sencilla el estado del mismo frente a la corrosión, observando la cantidad de residuos de óxido depositados en la superficie y la forma que ha tomado, si existen grietas o fisuras, si se ha dado de manera localizada u homogénea, etc. (GÓMEZ DE LEÓN HIJES, y otros, 2004)
- **Observación microscópica de la superficie:** En la industria moderna existe la observación en microscopio en campo claro y oscuro, también la iluminación oblicua y el contraste de fase. (GÓMEZ DE LEÓN HIJES, y otros, 2004)
- **Observación de la superficie con microscopio electrónico:** Para obtener un resultado más claro en cuanto a la determinación de pequeñas diferencias entre un proceso oxidativo de otro, se utiliza el microscopio electrónico con mucho éxito. (GÓMEZ DE LEÓN HIJES, y otros, 2004)
- **Reconocimientos de defectos superficiales y grietas:** En los procesos corrosivos muchas veces es más importante juzgar el ataque, ya que estos defectos son más dañinos y muy poco determinables a simple vista. Estas grietas recorren a través de la pieza formando túneles que

generan daños aún más graves en la forma mecánica. (GÓMEZ DE LEÓN HIJES, y otros, 2004)

Para determinación de la existencia de éstas, se puede realizar las siguientes pruebas no destructivas:

- Humectación con líquidos volátiles.
  - Aplicación de materiales fluorescentes.
  - Aplicación de polvos magnéticos.
  - Indicadores radiactivos y ultrasónicos
- **Determinación de la variación de peso:** Este es un método sencillo de determinar la afectación del metal por la corrosión, para ello se necesita saber la longitud de las probetas y la variación de peso de la misma luego del proceso corrosivo. Para tener resultados más exactos existen métodos para la remoción de la capa de óxido depositada en la superficie del metal: (GÓMEZ DE LEÓN HIJES, y otros, 2004)
  - **Limpieza manual:** esta se realiza con un paño empapado de algún solvente y con ayuda de alguna escobilla o lija adecuada a la cantidad de óxido en la superficie.
  - **Decapado mecánico:** para este método se emplea un chorro de arena de cuarzo, mediante granalla u otro parecido.
  - **Decapado químico:** se utilizan químicos como el ácido clorhídrico, para remover las impurezas y el óxido contenido en el material de prueba.
- **Determinación de la disminución del espesor:** esta puede ser la manera más sencilla de determinar la afectación del metal si el ataque es uniforme. Se elabora una tabla con la relación entre la pérdida de peso ( $\text{g/m}^2/\text{día}$ ) y la disminución de espesor ( $\text{mm/año}$ ). (GÓMEZ DE LEÓN HIJES, y otros, 2004)
- **Determinación de la naturaleza y profundidad de ataque:** Para este tipo de interpretación se emplea el examen metalográfico de las probetas pulidas, cortadas generalmente a la superficie corroída de la muestra. (GÓMEZ DE LEÓN HIJES, y otros, 2004)

#### *1.3.4.7 Ensayo de niebla usando Cámara de Niebla Salina*

Este equipo se ha desarrollado con el fin de experimentar con metales férreos y no férreos, con o sin revestimiento de origen orgánico, (CHAMPION, 1970) obteniéndose resultados muy claros y confiables para el sector industrial e investigativo, determinando el comportamiento de los materiales en ambientes altamente agresivos y ayudándonos a conocer rápidamente su resistencia a la misma.

Generalmente en la industria se utiliza para probar la resistencia de la corrosión en pinturas, revestimientos, barnices, acabados brillantes, motores, revelos, galvanizados, herramientas, materiales de construcción, etc.

## **DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

Dentro de la cámara de niebla salina se ubican las probetas o muestras en un ángulo de 15-30° paralelas a la pulverización de la niebla salina, de tal forma que se evita la atomización directa en las muestras y también que las mismas interactúen entre sí. La solución pulverizada es de NaCl al 3-5% en peso, preparada en agua destilada que no contenga níquel y cobre, que tenga menos de 0.3 % de impurezas total y menos de 200 ppm de sólidos disueltos. Para lograr una correcta atomización debe hacerse con aire comprimido limpio proveniente de un compresor que trabajará continuamente durante el periodo de prueba a una presión de 10-25 psi. La solución atomizada se debe suministrar continuamente a una velocidad que de 1-2.5 ml por cada hora, dependiendo del tamaño de la cámara. La temperatura a la que debe estar dentro de la cámara, según algunas fuentes debe mantenerse en 33-36°C, (CHAMPION, 1970) pero en otras hace énfasis en una temperatura de 35°C  $\pm$  1, y una humedad del 95-97% dentro de la cámara. (ARIAS y otros, septiembre 2007)

Las condiciones mencionadas anteriormente deben mantenerse continuas durante el periodo de prueba al que se someterá la pieza, que puede ser desde 24 horas hasta 1000 horas o más, dependiendo de la necesidad de las pruebas y del material a experimentar. (ARIAS y otros, septiembre 2007)

### *1.3.4.8 Generalidades de la Norma ASTM B-117 "Salt Spray Test"*

La Norma ASTM B-117 especifica el procedimiento y las condiciones adecuadas para crear y mantener correctamente un ambiente de niebla salina, aun así no describe el tipo de muestra,

periodos de exposición a darle a la pieza y tampoco la interpretación de los resultados obtenidos al final de la prueba.

Los principales parámetros exigidos por la norma para construir correctamente el equipo se menciona a continuación:

- El equipo necesario para la exposición de las probetas a la niebla salina consiste en una cámara sellada en la que se contenga la niebla generada gracias a la solución y el suministro continuo de aire comprimido correctamente acondicionado, uno o varios atomizadores de dicha mezcla aire-solución, elementos calefactores y controladores específicos para controlar la temperatura.
- Es necesario que el condensado de la niebla generado en el techo de la cámara no caiga sobre las muestras de prueba.
- El líquido condensado no se recirculará al recipiente que contiene la solución de NaCl para ser rociada nuevamente.
- El material utilizado en la construcción del equipo será resistente a la solución corrosiva con la que se trabajará.
- El agua usada durante la prueba deberá cumplir con el tipo IV de agua según la norma ASTM D1193, es decir, el agua de grifo no funcionaría para esta prueba.
- Los especímenes de prueba serán apoyados o suspendidos entre 15° y 30° de la vertical y de preferencia paralelas al flujo principal de la niebla salina.
- Los especímenes serán colocados, de tal forma, que no haya contacto entre uno y otro, ni con ninguna superficie metálica o material que pueda actuar como fieltro.
- Debe existir circulación libre de la niebla salina entre todos los especímenes de prueba.
- No debe existir goteo de la solución de NaCl condensada de un espécimen a otro.
- El aire comprimido que generará la niebla debe estar libre de impurezas y aceite y debe estar mantenido entre 10 y 25 psi (69 KPa/m<sup>2</sup> y 172 KPa/m<sup>2</sup>).
- La temperatura dentro de la cámara de exposición será constante en 35°C +1.1/-1.7. La temperatura de la cámara debe ser medida sin necesidad de abrirla.
- Se deberá colocar al menos 2 colectores de niebla limpia dentro de la cámara de exposición para que no caigan gotas de los especímenes o de otro lugar, los cuales deben ser puestos cerca de los especímenes de prueba y otro más alejado. La niebla debe ser suficiente para que haya 1 a 2 ml de solución por hora por cada 80 cm<sup>2</sup> de área de recolección horizontal, en un promedio de funcionamiento del equipo de 16 horas.
- La concentración de la solución de NaCl será 5± 1 % en peso y la solución colectada tendrá un pH de 6,5 a 7, 2.

- El o los atomizadores deberán ser colocados para que las finas gotas de niebla no impregnen directamente a los especímenes.
- La cámara de exposición de estar completamente sellada durante las pruebas para que no hay afectación de otros equipos y muebles a causa de la niebla salina.
- Debe existir filtros adecuados en las líneas de suministro de solución para que no haya obstrucciones.
- El aire comprimido necesario para generar la niebla salina debe ser continuo en toda la prueba, con excepción de las interrupciones cortas para inspecciones, reajustes, etc.

**Nota:** La norma ASTM B-117 se encuentra completa en el Anexo A

#### **1.4 Beneficiarios directos e indirectos**

##### **➤ Beneficiarios Directos**

Las personas beneficiarias de este proyecto serán exclusivamente los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, ya que gracias a la Cámara de Niebla Salina se podrá poner en práctica los conocimientos teóricos impartidos en la cátedra de Corrosión que forma parte de la carrera de Ingeniería Química.

##### **➤ Beneficiarios Indirectos**

Los beneficiarios indirectos con la aplicación de este proyecto son los estudiantes de las diferentes carreras de la Facultad de Ciencias, docentes y grupos de investigación pertenecientes a la misma, gracias a que el equipo está diseñado para fines investigativos y con facilidad en el manejo.

## **CAPITULO II**

### **2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1 General**

Diseñar y construir una cámara de niebla salina mediante la norma ASTM B-117 que permita ser utilizado para pruebas de corrosión acelerada para la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH.

#### **2.2 Específicos**

- Determinar las variables de proceso para la construcción de la cámara de niebla salina en base a la norma ASTM B-117.
- Realizar los cálculos ingenieriles para el diseño y construcción del equipo.
- Seleccionar los materiales más adecuados según la norma ASTM B-117 para la fabricación del equipo.
- Estructurar un manual de procedimientos y técnicas para el uso y funcionamiento del equipo.
- Validar el equipo a través de los ensayos de laboratorio en base a los nuevos parámetros.
- Estimar los costos de construcción y operatividad del equipo.



## CAPITULO III

### 3 ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del Proyecto

El proyecto será implementado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en la Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería Química, en el Laboratorio de Reacciones y Corrosión, la cual está ubicado específicamente en la Panamericana Sur km 1 1/2, en la ciudad de Riobamba – Ecuador.

**Tabla 1-3: Localización ESPOCH**

Limites ESPOCH	Al Norte, limita con el barrio 24 de mayo y la Av Canonigo Ramos. Al sur, limita con la Av. Pedro Vicente Maldonado y el Barrio de los Maestros. Al este, limita con la Av. 11 de Noviembre, Al Oeste limita con la Av By Pass
Rango altitudinal	2754 m.s.n.m
Clima	Temperatura Promedio 14°C

**FUENTE:** Instituto Nacional de Estadística y Censos

**Realizado por:** Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016



**Figura 1-3:** Localización ESPOCH

FUENTE: Google maps, 2016

## 3.2 Ingeniería del Proyecto

### 3.2.1 *Determinación de las variables de proceso*

Antes de la construcción del equipo se realizó una pequeña simulación a escala de laboratorio para determinar las variables a controlar en el equipo real, para evitar fallas posteriores. Se realizó 3 pruebas con diferentes temperaturas: la primera a 25°C, la segunda a la temperatura de 35°C y por ultimo con una temperatura ambiente de 19°C. Se realizó la simulación con las tres temperaturas para justificar el porqué de la exigencia de la norma ASTM B-117 de utilizar una temperatura de 35°C para la generación de un ambiente corrosivo óptimo.

La duración de cada ensayo realizado fue de 72 horas continuas, tiempo adecuado para obtener resultados visibles en los especímenes de prueba.

#### 3.2.1.1 *Simulación del equipo a escala del laboratorio*



**Figura 2-3: Simulación del ensayo de niebla salina**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

El ensayo a escala de laboratorio de la cámara de niebla salina consiste en reproducir con materiales comunes un ambiente cerrado en el que circule niebla salina con concentración de 5% en peso. Para esto se utilizó un recipiente de plástico hermético adecuándolo con ligeros soportes de madera del cual se suspendió las muestras a experimentar, como se observa en la figura 3. Se utilizó plástico para la cámara de exposición ya que resiste completamente a la niebla salina.



**Figura 3-3: Cámara de exposición simulada**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Para la generación de niebla se implementó un recipiente, igualmente de plástico, en el que se cargó con la solución al 5% en peso de NaCl y en el que se realizó la mezcla aire-agua con un nebulizador médico y con ayuda de un compresor pequeño de 0,25 HP marca Thomas modelo 1115.



**Figura 4-3: Generación de la niebla en la simulación**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Para llevar a la temperatura adecuada en cada ensayo se realizó un baño maría del recipiente que utilizamos como cámara de exposición, a la que se sumergió en una bandeja de agua, la misma que contenía una resistencia eléctrica sumergida para calentarla. El control de temperatura se realizó de manera manual con ayuda de un termómetro digital, controlando que se mantenga la temperatura adecuada en cada ensayo llevada a cabo en la simulación del equipo.



**Figura 5-3: Control de temperatura en las pruebas**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

## **PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS**

Para la realización de las pruebas se consideraron tres ensayos utilizando placas de metales que están presentes generalmente en ciertas industrias, y en la mayoría de nuestro entorno, como es: el acero, el aluminio, el cobre y para mayor indagación en las pruebas se tomó en cuenta también el zinc galvanizado resistente a la corrosión.

Antes de llevarse a cabo la prueba, se debe asegurar que la superficie de las muestras es la ideal para el ensayo. Para esto se puede realizar una limpieza con ayuda de tratamientos químicos, con lija o escobilla fuerte, de tal forma que la superficie de la muestra sea homogénea y esté libre de residuos o impurezas, evitando así tener sustancias o condiciones que sean foco de corrosión, acelerando su proceso en esos lugares, y si el recubrimiento es no metálico es necesario realizar una limpieza no agresiva con paños húmedos en una mezcla agua-alcohol. En este caso se optó por la preparación con la lija ya que es un instrumento fácil de usar, económico y muy efectivo para las muestras metálicas que se utilizó en los ensayos.



**Figura 6-3: Muestras listas para el ensayo simulado**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

### *3.2.1.2 Resultados obtenidos*

Las pruebas realizadas en la simulación del equipo se hicieron con el fin de obtener las variables a tomar en cuenta en la construcción y justificar algunos de los parámetros que se especifican en la norma con la cual se basa este proyecto. El método de determinación de la afectación de la niebla salina en los especímenes de prueba fue mediante la pérdida de peso de los materiales, a cada temperatura.



## PRIMERA PRUEBA SIMULADA

En la primera prueba realizada a una temperatura de 25°C, se observó que la capacidad oxidativa de la niebla fue moderada, pero no ausente como se observa en la figura 7. De los metales expuestos se evidenció mayor corrosión en el acero, gracias a su inestabilidad y capacidad oxidativa, con una disminución de 0,20 gr, siguiéndole el cobre con su particular color verde, producido por la presencia de carbonato e hidróxidos de cobre, con una pérdida de 0,14 gr, luego el aluminio con 0,06 gr menos y por último el zinc que por su propiedad anticorrosiva perdió solo el 0,02.



**Figura 7-3: Antes y después del Ensayo 1**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

## SEGUNDA PRUEBA SIMULADA

En el segundo ensayo realizado a una temperatura de 35°C; temperatura que exige la norma para un ambiente óptimo, se obtuvo resultados aún más claros, gracias a las condiciones generadas en el interior de la cámara de exposición, como la humedad de la niebla y la temperatura optima, en el que el acero se vio más afectado con una pérdida de 1,26 gr, seguido del cobre con 0,28 gr, luego el aluminio y el zinc con pérdida de 0.08 gr y 0,02 gr respectivamente. Tomando en cuenta los resultados obtenidos en esta prueba, se puede evidenciar que esta temperatura es la más adecuada para generar un ambiente de niebla salina más agresivo. Igualmente se pudo observar que en esta

temperatura la niebla salina demora en condensar por lo tanto la acción corrosiva de la misma es más eficiente.



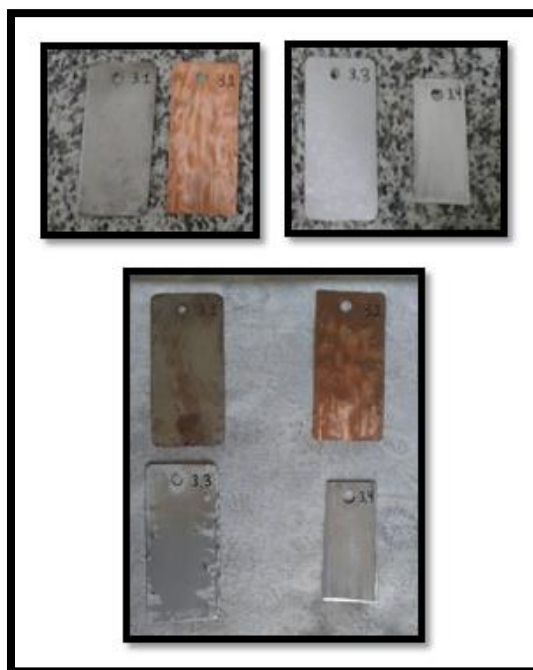
**Figura 8-3: Antes y después del ensayo 2**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

### **TERCERA PRUEBA SIMULADA**

Por último el ensayo realizado a 19°C; temperatura promedio de la ciudad, obtuvimos resultados poco evidenciables con respecto a los otros ensayos, con pérdidas de 0,08 gr en el acero, 0,04 gr en el cobre, 0,01 gr en el aluminio y el zinc que no tuvo afectación alguna con 0,00 gr de pérdida.





**Figura 9-3: Antes y después de la prueba 3**

Fuente: Realizado por Elizabeth S. y Freddy A.

A continuación, se describe una tabla (Tabla 2-3) con los pesos de cada muestra antes y después de cada ensayo a su determinada temperatura:

**Tabla 2-3: Datos de experimentos a escala de laboratorio**

ENSAYO SIMULADO 1				
TEMPERATURA	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PÉRDIDAS (gr)
25°C	(1.1) ACERO (AISI 1015)	30,34	30,14	0,2
	(1.2) COBRE	25,10	24,96	0,14
	(1.3) ZINC	8,52	8,50	0,02
	(1.4) ALUMINIO	10,92	10,86	0,06
ENSAYO SIMULADO 2				
TEMPERATURA	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PÉRDIDAS (gr)
35°C	(2.1) ACERO (AISI 1015)	30,30	29,04	1,26
	(2.2) COBRE	27,44	27,16	0,28
	(2.3) ZINC	8,56	8,54	0,02
	(2.4) ALUMINIO	10,06	9,98	0,08
ENSAYO SIMULADO 3				
TEMPERATURA	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PÉRDIDAS (gr)

<b>19°C</b>	(3.1) ACERO (AISI 1015)	30,68	30,60	0,08
	(3.2) COBRE	26,60	26,56	0,04
	(3.3) ZINC	8,78	8,78	0,00
	(3.4) ALUMINIO	8,28	8,27	0,01

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo, 2016

Comparando los tres ensayos realizados en la simulación del equipo llegamos a evidenciar que en la segunda prueba llevada a cabo a 35°C, como exige la norma ASTM- B117, se obtuvieron resultados más evidenciables con respecto a las demás pruebas, obteniendo mayor grado de corrosión y por ende más pérdida del material ensayado. La temperatura es la variable más importante a controlar en el equipo ya que al tener una temperatura menor a la normada el proceso de corrosión se efectúa más lentamente, y si es mayor, la niebla generada se condensa más rápidamente, ocurriendo igualmente un proceso corrosivo más lento.

Con esta simulación llegamos a concluir que la construcción del equipo debe ser realizada con materiales resistentes a la variación de temperatura y demás parámetros que la norma ASTM B-117 exige en el desarrollo del ambiente corrosivo dentro de la cámara de exposición.

### ***3.2.2 Cálculos de ingeniería y selección de materiales para el diseño y construcción del equipo***

En esta sección se dará a conocer los procesos de diseño y los materiales utilizados en la construcción del equipo, justificado adecuadamente con ilustraciones y características de cada una de las partes y equipos de la cámara de niebla salina escogidos, teniendo como base las condiciones que nos impone la norma antes mencionada.

Basados en la simulación del proceso de corrosión realizado a escala de laboratorio, se corroboró que la temperatura que impone la norma ASTM B-117 para las pruebas (35°C +1.1 -1.7°C) es la más adecuada comprobada bajo el método de pérdida de peso de cada muestra, como se observó en la simulación, por lo tanto los materiales para el diseño y construcción de la cámara de niebla salina son acorde principalmente a esta variable y a los demás parámetros que impone cumplir la norma en la que se basa este proyecto, tomando en cuenta la presión, % de humedad y concentración de la solución corrosiva que se va a utilizar.

A continuación, se expone una tabla para entendimiento de cada parte del equipo con la función que cumplirá en el proceso de cada prueba:

**Tabla 3-3: Partes de la cámara de niebla salina**

SISTEMA / COMPONENTE	FUNCIÓN
<b>Soporte del equipo</b>	Da seguridad y estabilidad a todo el equipo con sus componentes.
<b>Cuerpo de la cámara de exposición</b>	Es la parte más importante, pues en su interior se llevará a cabo la exposición de las muestras a la niebla salina.
<b>Tapa de la cámara de exposición</b>	Cuenta con una forma especial para evitar que las gotas condensadas caigan sobre las muestras.
<b>Humidificador</b>	Tiene la función de dar humedad al aire comprimido que se utiliza para la generación de la niebla.
<b>Tanque auxiliar de solución</b>	Se encuentra dentro de la cámara de exposición supliendo de forma continua la solución para la generación de la niebla salina.
<b>Tanque principal de solución</b>	La capacidad de éste es mayor para mantener la solución corrosiva preparada y sea suficiente para toda la prueba.
<b>Sistema de calefacción de la cámara</b>	Será el encargado de llevar la cámara de exposición a la temperatura deseada, y mantenerla en la misma.
<b>Sistema de generación de niebla</b>	Este sistema realizará la correcta pulverización de la solución para formarla en niebla.
<b>Sistema de suministro de aire</b>	Constará de aire comprimido limpio y libre de grasa con cierta presión para formar la niebla salina.
<b>Cubierta externa de la cámara</b>	Es necesaria para la protección de la cámara de exposición y para el acople de los componentes del equipo.
<b>Sistema eléctrico y de control</b>	Constará de la debida automatización de los componentes para obtener un mínimo control manual por parte del operador.
<b>Soporte de especímenes de prueba</b>	Son los encargados de mantener en cierto ángulo a los especímenes de prueba para la

	correcta exposición.
<b>Desagüe y ducto de aireación</b>	Es muy importante ya que servirá para evitar que la presión del aire que ingresa se acumule y exista la explosión de la cámara. También ayudará a la eliminación de la solución ya condensada.
<b>Unidad de mantenimiento del equipo</b>	Debe constar de una unidad de mantenimiento para el correcto funcionamiento del equipo.

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo, 2016

## CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para el diseño del equipo se tomó en cuenta algunas consideraciones generales que serán adecuadas de acuerdo a nuestras necesidades:

- El cumplimiento de las exigencias de la norma ASTM B-117, garantizando las condiciones y restricciones que nos impone para generar el ambiente corrosivo óptimo.
- La duración máxima de funcionamiento del equipo será de 3 días tiempo suficiente para obtener resultados visibles (parámetro seleccionado por los autores del proyecto).
- Disponibilidad de suministro de energía eléctrica y líneas de drenaje de solución condensada.
- El equipo debe operar con intervención humana mínima durante el tiempo de llevarse a cabo la prueba.
- Debe ser práctico y de fácil utilización.
- El equipo debe tener una buena presentación estética.
- Debe ser lo más económico posible sin afectar su funcionalidad.
- El equipo debe ser una herramienta didáctica para la experimentación.
- Diseñado para estudiantes de la ESPOCH.

### 3.2.2.1 Soporte del equipo

El equipo cuenta con una estructura interna que dará seguridad a la cámara de exposición y una externa para cubrir y acoplar a todos los accesorios necesarios para su funcionamiento, ayudando a tener un equipo estructuralmente estable.

La estructura fue construida con tubos cuadrados de 1" de acero inoxidable AISI 304, y con cuatro puntos de apoyo para evitar que ceda con el peso de la cámara y sus complementos, los cuales tienen un espacio en pequeñas estructuras a los costados del soporte principal.

Las dimensiones del soporte son 80x80x65 cm diseñado para las medidas estructurales de la cámara de exposición y el espacio necesario para que el aire caliente circule alrededor de la cámara.

La resistencia a la tracción del acero inoxidable utilizado es de aproximadamente 54-75 Kg/mm<sup>2</sup> y la resistencia a la cedencia es de 23 Kg/mm<sup>2</sup>.

**Tabla 4-3: Características generales del acero inoxidable**

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACERO INOXIDABLE</b>	
<b>Estética</b>	La estética se genera gracias al acabado del acero que se utilice, ya sea mate o brillante, o si se elige con algún diseño o color.
<b>Propiedades mecánicas</b>	El acero inoxidable presenta propiedades mecánicas muy favorables a temperatura ambiente en comparación con otros materiales, como por ejemplo su dureza, su resistencia al desgaste, ductilidad y elasticidad, etc.
<b>Resistencia al fuego</b>	En comparación con otros metales, el acero inoxidable presenta una buena resistencia al fuego (800 °C) y no desprende gases tóxicos.
<b>Resistencia a la corrosión</b>	Gracias a la presencia de aproximadamente 10,5 %de cromo en su composición, el acero inoxidable genera un oxido de cromo que protege la superficie haciéndolo resistente en ambientes corrosivos.
<b>Limpieza</b>	La limpieza es sumamente fácil, pudiendo utilizarse sustancias comunes como detergentes, jabón, etc.

<b>Reciclaje</b>	El acero inoxidable es 100% reciclable y con una vida útil muy larga.
------------------	---

Fuente: <http://www.uginox.com/es/node/931>

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo, 2016

Las medidas de la estructura interna fueron establecidas en base al tamaño de la cámara de exposición, descrita más adelante.



**Figura 10-3: Estructura del equipo**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

### *3.2.2.2 Cuerpo de la cámara de exposición*

La cámara de exposición fue diseñada de acuerdo a la necesidad y al uso que se le dará dentro del campo didáctico y de investigación, por tal razón se realizó con vidrio templado de color negro, el cual ayudará a mantener la temperatura a la que se trabajará y con un espesor de 5 mm para evitar que se rompa por el calor suministrado.



**Figura 11-3: Cuerpo de la cámara de exposición**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Las medidas del cuerpo de la cámara es de 60 x 45 x 45 cm (largo x ancho x alto). El diseño del tamaño del cuerpo de la cámara se calculó de acuerdo al tamaño del soporte de especímenes y del tanque auxiliar que se encontrarán dentro de la cámara.

Se colocarán 2 soportes de especímenes, cada uno con dimensiones de 31.8 x 5 x 5.8 cm, y un tanque auxiliar de 18 x 25 x 15 cm por lo tanto:

$$\text{Largo de cámara} = \text{Largo soporte} + \text{Largo tanque auxiliar}$$

$$\text{Largo decámara} = 31.8 \text{ cm} + 18 \text{ cm}$$

$$\text{Largo de cámara} = 49.8 \text{ cm}$$

49.8 cm es el largo total que se utilizaría en la adaptación de los accesorios que necesita el equipo dentro de la cámara para su funcionamiento y se consideró una distancia de 10.2 cm de espacio entre accesorios para completar la medida de 60 cm de largo.

Si tomamos en cuenta el ancho de los mismos accesorios podemos calcular el ancho total de la cámara de exposición:

$$\text{Ancho de accesorios} = \text{Ancho soporte} + \text{Ancho tanque auxiliar}$$

$$\text{Ancho de accesorios} = 2(5.8 \text{ cm}) + 15 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho de accesorios} = 26.6 \text{ cm}$$

La separación entre pared de la cámara y los soportes de cada lado se tomó en cuenta una distancia de 9 cm, quedando como separación entre soportes una distancia de 15.4 cm para tener un ancho total del cuerpo de la cámara de exposición de 45 cm.

$$\text{Ancho total de cámara} = \text{ancho de acces} + \text{separacion soport} + \text{separacion entre acces}$$

$$\text{Ancho total de cámara} = 26.6 \text{ cm} + 2(9) + 0.4 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho total de cámara} = 45 \text{ cm}$$

Para la altura de la cámara se tomó en cuenta la dimensión del tanque auxiliar más lo considerado para acoplar la pistola aerográfica, encargada de realizar la niebla dentro de la misma. La altura del tanque auxiliar es de 25 cm y la altura del soporte de la pistola aerografica es de 10 cm:

$$\text{Alto de accesorios} = \text{Alto tanque auxiliar} + \text{Alto aerógrafo}$$

$$\text{Alto de accesorios} = 25 \text{ cm} + 10 \text{ cm}$$

$$\text{Alto de accesorios} = 35 \text{ cm}$$

Se consideró una altura de 10 cm para acoplar en la cámara los sensores de humedad y temperatura para la automatización, así que en total la altura del cuerpo de la cámara es de 45 cm.

$$\text{Alto total de cámara} = \text{Alto accesorios} + \text{Alto sensores}$$

$$\text{Alto total de cámara} = 35 \text{ cm} + 10 \text{ cm}$$

$$\text{Alto total de cámara} = 45 \text{ cm}$$



Los vidrios utilizados en la construcción del cuerpo y la tapa de la cámara de exposición fueron adheridos a la estructura y entre sí con una silicona especial utilizada en la industria de carrocería y de la cual se puede mencionar ciertas características detalladas en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3: Características de silicona Sikaflex-256**

<b>DATOS DE LA SILICONA SIKAFLEX</b>	
<b>Base química</b>	Poliuretano Monocomponente
<b>Color (CQP 001-1)</b>	Negro
<b>Densidad (CQP 006-4)</b>	1.2 Kg/L
<b>Estabilidad</b>	Muy buena
<b>Sistema de curado</b>	Curado por humedad
<b>Temperatura de aplicación</b>	+5°C a +40°C
<b>Tiempo de formación de piel<sup>2</sup> (CQP 019-1)</b>	40 min
<b>Tiempo abierto<sup>2</sup> (CQP 526-1)</b>	30 min
<b>Dureza Shore A (CQP 023-1, ISO 868)</b>	50
<b>Resistencia a la tensión (CQP 036-1, ISO 37)</b>	7 N/mm <sup>2</sup> (71.4 Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Elongación de ruptura (CQP 036-1, ISO 37)</b>	400%
<b>Resistencia al desgarro (CQP 045-1, ISO 34)</b>	11 N/mm (11.2 Kg/cm)
<b>Resistencia a la cortadura por tracción (CQP 046-1, ISO 4587)</b>	5 N/mm <sup>2</sup> (51.0 Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Tiempo seguro de liberación del vehículo FMVSS 212/208 (CQP 511-1)</b>	Doble airbag: 6 h Sin airbag: 2 h
<b>Resistencia eléctrica (CQP 0791-2, ASTM 0257-99)</b>	10 <sup>6</sup> Ω cm
<b>Vida del producto (almacenado por debajo de 25°C) (CQP 016-1)</b>	12 meses
<b>CQP=Procedimiento de calidad</b>	<sup>2</sup> 23°C/ 50% H.r

El vidrio templado posee propiedades específicas, necesarias para la realización de este proyecto, siendo una de ellas la elevada resistencia a la rotura, ya sea por el calor o por la presión, (Tabla 6-3) y también la conservación del calor suministrado a la cámara. Por tal razón se procedió a hacer los cálculos necesarios para saber cuánto calor debe suministrarse para alcanzar a temperatura a la que se trabajara en las pruebas.

**Tabla 6-3: Características generales del vidrio templado**

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL VIDRIO TEMPLADO</b>	
<b>Resistencia al choque mecánico</b>	El vidrio templado puede resistir un choque de una bola de acero de 250 g desde una altura de 3 m.
<b>Resistencia al choque térmico</b>	Un cristal templado de 6 mm de espesor puede resistir un choque térmico de hasta 270°C, o puede permanecer totalmente integro si está expuesto a una temperatura de 500°C por un largo periodo.
<b>Resistencia a la presión</b>	Un cristal templado de 10 mm puede resistir la misma resistencia de una losa de 25 cm de espesor.
<b>Resistencia a la flexión</b>	La fuerza de ruptura por flexión de un cristal templado es de aproximadamente 18.5 Kg/cm <sup>2</sup> , 6 veces más que un vidrio normal (3.5 Kg/cm <sup>2</sup> ).
<b>Resistencia a la torsión</b>	El vidrio templado de 1 m de largo por 33 cm de ancho y un espesor de 6 mm, puede resistir un momento tensionaste de 180 Kg sin sufrir una ruptura o deformación permanente.
<b>Resistencia al alabeo</b>	Un vidrio templado de 1 m de largo por 33 cm de ancho y 6 mm de espesor puede soportar sin dificultad sobre la diagonal un esfuerzo de 1000 kg F.

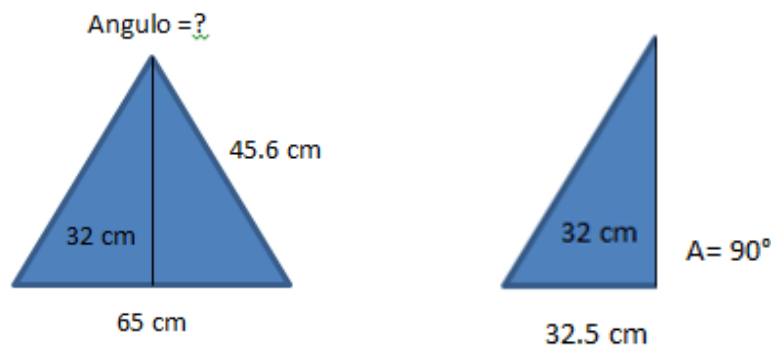
Fuente: <http://es.slideshare.net/salmonete/vidrio-templado-presentacin>

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016

### 3.2.2.3 Tapa de la cámara de exposición

La cámara de exposición cuenta con una cubierta en forma de “V” invertida, fabricada del mismo material utilizado en el cuerpo de la cámara. Según la norma en la que se basa este proyecto, dice que la cubierta debe estar abierta de tal forma que el ángulo de abertura esté entre 90° y 120°, para evitar que la solución condensada en las paredes caiga directamente a los especímenes de prueba. El diseño de la tapa de la cámara de exposición se basó en la exigencia de la norma ASTM B-117, mencionada anteriormente, por lo tanto las medidas deben ser acordes para formar un ángulo mínimo de 90°.

Para apoyar y formar el ángulo adecuado se realizó una base en el mismo material con medidas de 65 cm de ancho y 80 cm de largo. La tapa adopta una forma de triángulo, y el alto de cada lado es de 45.23 cm, formándose una altura de 32 cm desde la base hasta la punta de la tapa.



$$c^2 = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c^2 = \sqrt{32^2 + 32.5^2}$$

$$c^2 = 45.60 \text{ cm}$$

Para calcular el ángulo con esa longitud:

$$\sin B = \frac{32.5}{45.60}$$

$$\sin B = \frac{32.5}{45.60}$$

$$B = \sin^{-1} \frac{32.5}{45.60}$$

$$B = (45.23)^2$$

$$B = 90.47$$

En este caso el ángulo de abertura es de 90°, cumpliendo con las especificaciones de la norma antes mencionada.



**Figura 12-3: Tapa de la cámara de exposición**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

La cubierta cuenta con una puerta de 40 x 20 cm que permitirá la manipulación oportuna de los especímenes de prueba, la cual fue realizada igualmente con vidrio templado de las mismas características del resto de la cámara de exposición, sujetado con bisagras y asegurado con broches de palanca para seguridad y ayudando a la hermeticidad necesaria para cada prueba.



**Figura 13-3: Puerta de la cámara de exposición**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

#### 3.2.2.4 Humidificador

La función del humidificador es hacer que el aire comprimido que es suministrado, para generar la niebla salina, adquiera mayor humedad y se sature. Para esto se utilizó como base una bomba de 5 litros marca TEMCO con norma ISO 9001 que puede soportar presiones de hasta 55 psi y con dimensiones de 18 x 18 x 43,5 cm, a la cual se le ha adaptado un difusor de piedra de 2.5 cm de largo, utilizado usualmente en las peceras, ya que gracias a este material se evitaría la corrosión del difusor de aire en contacto con la solución corrosiva. La bomba utilizada cuenta con una válvula de alivio para evitar la acumulación de presión por si ocurre una obstrucción durante el proceso, de esta manera se evita daños en el tanque humidificador.



**Figura 14-3: Difusor de aire**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

El humidificador cuenta con una entrada de agua de 1” pulgada, por la cual ingresa la solución corrosiva desde el tanque principal de forma manual gracias a una válvula esférica con acabado de cromo. Además se ha adaptado una llave de plástico para vaciar la solución al final de cada prueba.



**Figura 15-3: Humidificador**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

#### *3.2.2.5 Tanque auxiliar de solución*

Este tanque se sitúa en el interior de la cámara de exposición y gracias a él se podrá realizar la mezcla aire-agua que generará la niebla corrosiva. Está diseñado para evitar que se corroa y para contener un volumen adecuado al funcionamiento del equipo, por esta razón está construido de acrílico con dimensiones de (18 x 25 x 15) cm.

El acrílico es un polímero de metil metacrilato, PMMA (polimetilmetacrilato) y la razón principal de la elección de este material para la construcción de este tanque es por su resistencia, ya que al estar en el interior de la cámara de exposición soportará cierta subida de temperatura y estará en constante contacto con la niebla salina. Otras de las características favorables del acrílico son:

- Baja conductividad térmica
- Resistencia a la corrosión
- Bajo costo
- Impermeable

- Soporta la temperatura de trabajo
- Acabado liso para facilitar la limpieza
- Resistente a impactos

Aun así el acrílico presenta rasgos negativos como la fácil combustión y rayarse fácilmente con cualquier objeto metálico o material abrasivo.



**Figura 16-3: Tanque auxiliar de solución**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Según los cálculos correspondientes, el tanque tiene una capacidad de 6.75 Litros, de los cuales solo se llenará 5 litros para que pueda funcionar correctamente la automatización.

$$V = L * H * A$$

$$V = (18 * 25 * 15)cm$$

$$V = 6750 \text{ cm}^3$$

$$V = 6750 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3}$$

$$V = 6.75 \text{ Litros}$$

Se diseñó con el fin de contener cierta cantidad de solución que será la que genere, con ayuda del aire comprimido, la niebla salina. En las pruebas correspondientes se determinó que se atomiza 18.46 ml/min:

$$18.46 \frac{ml}{min} * \frac{L}{1000 ml} = 0.01846 \frac{L}{min}$$

$$0.01846 L \rightarrow 1 min$$

$$5 L \rightarrow t$$

$$t = \frac{5L * 1 min}{0.01846 L}$$

$$t = 270.85 min * \frac{1 hora}{60 min} = 4.51 horas$$

Como se evidencia los 5 litros de solución se emplearán en 4.51 horas, tiempo en el que el sistema automatizado y ciertos accesorios del equipo puede reposar dando un alargue en su vida útil.

El reservorio auxiliar cuenta con una tapa y un agujero en el centro por el cual succionara la solución antes de convertirla en niebla, además cuenta con un agujero de 22 mm a 15 cm de la base de una de las caras por la cual ingresará el agua, con ayuda de una bomba de 0.5 HP marca Milano, desde el tanque principal de solución. También tiene dos soportes en la parte superior, de aproximadamente 10 cm, en la cual se apoyará la pistola que suplirá la función de difusora.



**Figura 17-3: Tapa del tanque auxiliar**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016



### 3.2.2.6 *Tanque principal de solución*

Para la elección del tanque principal se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- Volumen de solución a utilizar
- Color del recipiente acorde al del equipo y demás accesorios
- Resistencia a la corrosión
- Resistencia a impactos y presión de la solución contenida

El material del tanque principal de solución que se utilizará para las pruebas de corrosión es de plástico (polietileno de alta densidad PEAD) de color blanco y con tapa de rosca, ya que con este material no tendrá ninguna interacción entre la solución corrosiva y el material del tanque evitando el peligro de corrosión y de desprendimiento de sustancias ajenas a la solución. La capacidad del tanque es de 60 Litros según especificaciones técnicas del mismo.



**Figura 18-3: Tanque principal de solución**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Suponiendo que el tanque es totalmente rectangular con dimensiones de (53 x 36.5 x 32) cm podemos calcular el volumen real del tanque principal:

$$V = L * H * A$$

$$V = (36.5 * 53 * 32)cm$$

$$V = 61940 \text{ cm}^3$$

$$V = 61940 \text{ cm}^3 * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3}$$

$$V = 61.904 \text{ Litros}$$

Según los resultados obtenidos en la simulación a escala de laboratorio la velocidad a la que la solución es atomizada es de 18.461 ml/min, en 24 horas se utilizará 26,584 Litros para la generación de la niebla salina, según los cálculos:

Datos:

Velocidad de atomización: 18.46 ml/min

Días de prueba: 1 días

X= litros de solución por día

$$1 \text{ dia} * \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ dia}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 1440 \text{ min}$$

$$\begin{array}{ccc} 18,46 \text{ ml} & \rightarrow & 1 \text{ min} \\ x & \leftarrow & 1440 \text{ dia} \end{array}$$

$$x = 26582.4 \text{ ml/dia}$$

$$x = 26582.4 \frac{\text{ml}}{\text{dia}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}}$$

$$x = 26.58 \frac{\text{L}}{\text{dia}}$$

Para la elección de la capacidad del tanque principal de la solución se tomó en cuenta que al encenderse el equipo se descontará la capacidad del humidificador y del tanque auxiliar que se encuentra dentro de la cámara.

Litros de solución por día: 26.58 litros por día

Capacidad de tanque humidificador: 5 litros

Capacidad de tanque auxiliar: 5 litros

Volumen total de solución= Litros de solución por día + Capacidad de humidificador+ Capacidad de tanque auxiliar

$$\text{Volúmen total de solución} = (26.58 + 5 + 5) L$$

$$\text{Volúmen total de solución} = 36.58 \text{ Litros}$$

Luego de tanque auxiliar es suficiente para cubrir la necesidad de la solución en todas las fases del proceso que intervienen en la prueba de corrosión. Este tanque lleva una marca en los 40 litros para evitar el sobre esfuerzo por el peso de la solución al sobrepasar la capacidad necesaria de llenado. Y también cuenta con una llave de plástico, al igual que el humidificador, para vaciarlo al momento de acabar la prueba.

#### *3.2.2.7 Sistema de calefacción de la cámara de exposición*

La cámara debe mantenerse a cierta temperatura para acelerar de forma óptima la corrosión en las muestras. Según la norma en la que se basa este proyecto dice que debe estar en una temperatura de  $35^{\circ}\text{C} \pm 1.1/-1.7^{\circ}\text{C}$ . Este equipo está diseñado para pruebas a la temperatura indicada y también puede ser utilizado a diferentes temperaturas para los ensayos experimentales.

Para calentar la cámara de exposición y llevarla a la temperatura adecuada se aplica una convección forzada con ayuda de una resistencia eléctrica tubular de acero inoxidable de 30 x 26 cm de longitud y con un diámetro de varilla de 8 mm. La resistencia cuenta con una potencia de 1500 Watts y 110 voltios. La misma que es controlada de manera automatizada para apagarse inmediatamente si la temperatura pasa del rango necesario y prenderse igualmente cuando la temperatura baje demasiado.



**Figura 19-3: Resistencia eléctrica**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

El sistema se complementa utilizando un ventilador metálico marca EVL modelo VN-5150, con una potencia de 470 mA y 2500 RPM, que permite la circulación de aire caliente alrededor de la cámara para que el calor en el interior de la cámara sea homogéneo.



**Figura 20-3: Ventilador del sistema de calefacción**

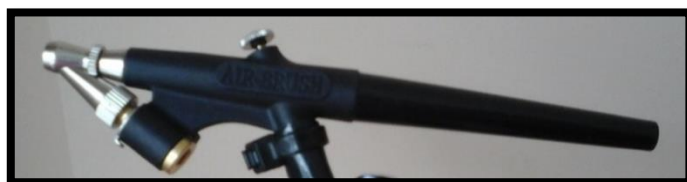
Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

### 3.2.2.8 Sistema de generación de niebla salina

Para poder generar la niebla se necesita de un sistema que realice una mezcla aire-agua, para esto se ha elegido una pistola aerográfica marca CENTURY de color negro, la misma que funciona como un tubo venturi que succiona la solución del tanque auxiliar con ayuda de la presión del aire

comprimido y que consta de un regulador en la parte externa para controlar la finura de las gotas que generan la niebla salina.

Se encuentra apoyada en los soportes de la tapa del tanque auxiliar de solución que está en el interior de la cámara de exposición, a una altura considerable para la oportuna difusión de la solución a los especímenes de prueba.



**Figura 21-3: Sistema de generación de niebla**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

La regulación de la boquilla de aspersión se realizó de acuerdo a la cantidad de niebla que se desea generar y de acuerdo a la presión utilizada en las pruebas para generar una humedad de 95-97% dentro de la cámara y que la misma se puede apreciar en la pantalla digital.

#### *3.2.2.9 Sistema de suministro de aire*

El aire comprimido suministrado es fundamental para la generación de la niebla. En este caso se ha elegido un compresor silencioso marca DOGSONG de  $\frac{3}{4}$  HP que puede llegar a una presión máxima de 175 psi. El compresor cuenta con un tanque de 15 litros, un filtro básico y también con un regulador de presión de salida.



**Figura 22-3: Compresor de aire**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

La norma exige que el aire comprimido utilizado en la generación de niebla sea libre de grasa e impurezas, por esta razón se ha adaptado, además del filtro de aire del compresor, un filtro regulador de aire marca TRUPER que incrementa la vida útil del equipo en general. Se ha tomado en cuenta este sistema adicional ya que da más seguridad y confiabilidad en el proceso correcto de las pruebas durante el tiempo establecido.



**Figura 23-3: Filtro de aire**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

La elección de este compresor se debe a que el tiempo de funcionamiento del equipo está diseñado para pruebas de 72 horas (tres días) y va a estar ubicado en un laboratorio que se utiliza a diario, por lo tanto el compresor silencioso no molestaría a los demás en sus labores mientras se efectúa las pruebas de corrosión.

Según la norma ASTM B-117 indica que la presión de entrada, para la generación de la niebla salina, debe estar en el rango de 10 a 25 psi. En este caso la regulación de la presión que genera la niebla, se tomó en cuenta de acuerdo al porcentaje de humedad necesario para una correcta simulación de ambiente corrosivo dentro de la cámara.

Según las pruebas realizadas en periodos de 1 hora a diferentes presiones se llegó a humedades como muestra la siguiente tabla:

**Tabla 7-3: Datos de calibración de la presión**

PRESIÓN (PSI)	HUMEDAD (%)
15	93
20	96
25	97

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016

La presión para la generación del ambiente corrosivo óptimo fue entre 20 y 25 psi, así que lo calibramos en una presión de 23 psi. Si nos fijamos está dentro del rango permitido por la norma y sin ningún problema la niebla se genera envolviendo a los especímenes de prueba. La presión es la adecuada aun adicionada de forma individual un sistema de humidificación de aire posterior a la entrada de generación de niebla.

#### *3.2.2.10 Cubierta externa de la cámara*

La cubierta externa es tan importante como los demás componentes de todo el equipo, ya que funciona como protección a la cámara de exposición y es clave en la circulación del aire caliente alrededor de la cámara para transferir el calor necesario y llegar a la temperatura requerida sin haber fuga de calor hacia el exterior. Además funciona como soporte para algunos accesorios necesarios en el funcionamiento del equipo como caja de control para controlar ciertas funciones del equipo.

El material utilizado como cubierta es el tol galvanizado. La elección del mismo es por su resistencia a la corrosión y la facilidad para acoplar las distintas instalaciones que se requieren.

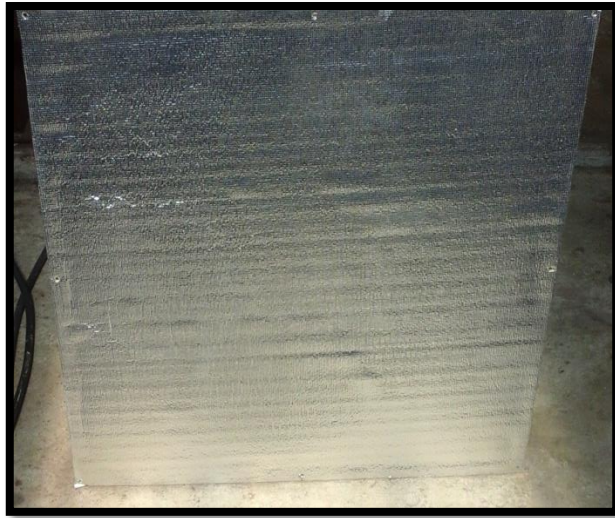


**Figura 24-3: Cubierta externa de la Cámara de Niebla Salina**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Para evitar accidentes por el calentamiento del tol gracias a la circulación del aire caliente en el interior, se ha aplicado un aislante térmico comercial en la cara interna, se trata básicamente de una Lámina de espuma de polietileno que tiene incorporada en una de sus caras un film aluminizado para la reflexión del calor. Evitando que el tol se caliente y surja algún accidente por quemaduras.





**Figura 25-3: Aislante Térmico aluminizado**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Algunas características del aislante térmico utilizado en son:

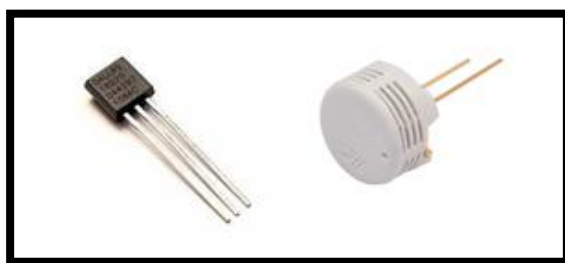
- Son absolutamente impermeables
- Son aislantes térmicos
- Evitan la condensación
- No se degradan y mantienen su forma y espesor a lo largo del tiempo
- No son atacados por insectos
- Son fáciles de colocar
- Son termosoldables y pegables con adhesivo de contacto
- Se clavan fácilmente, sin riesgo de roturas ni filtraciones
- Son livianas y flexibles
- No desprenden partículas de ningún tipo
- Material de baja propagación de llama
- Evitan los puentes térmicos

Se decidió que el tol se pinte de color amarillo para que se vea bien a nivel estético al combinarse con el color negro del vidrio templado.

### 3.2.2.11 Sistema eléctrico y de control

Un aspecto importante en el diseño de este equipo es que sea fácil de utilizar y con muy poca intervención humana. Por esta razón se ha adicionado al equipo un sistema automatizado, de 110 V de trabajo, para facilidad de los estudiantes.

La automatización del equipo es importante para poder controlar la temperatura dentro de la cámara y mantenerla en el rango deseado. Para esto se ha utilizado un sensor básico de temperatura que está ubicado en el interior de la cámara y que envía señales eléctricas para que al momento de sobrepasar la temperatura se apague la resistencia y, así mismo, si llega a descender por debajo de ese rango se vuelva a prender, para mantener el interior de la cámara en un ambiente óptimo.



**Figura 26-3: Sensores de temperatura y humedad**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

Además se necesita controlar el nivel de solución presente en el tanque auxiliar que está en el interior de la cámara de exposición ya que, al no existir el nivel de solución adecuado, la generación de niebla salina será un problema. Así que se adecuó un sensor de nivel tipo flotador para que al momento de llegar a cierto nivel de solución se abra la electroválvula (Figura 27-3) que están posterior al tanque principal para que supla automáticamente de solución al tanque auxiliar cuando éste lo requiera.



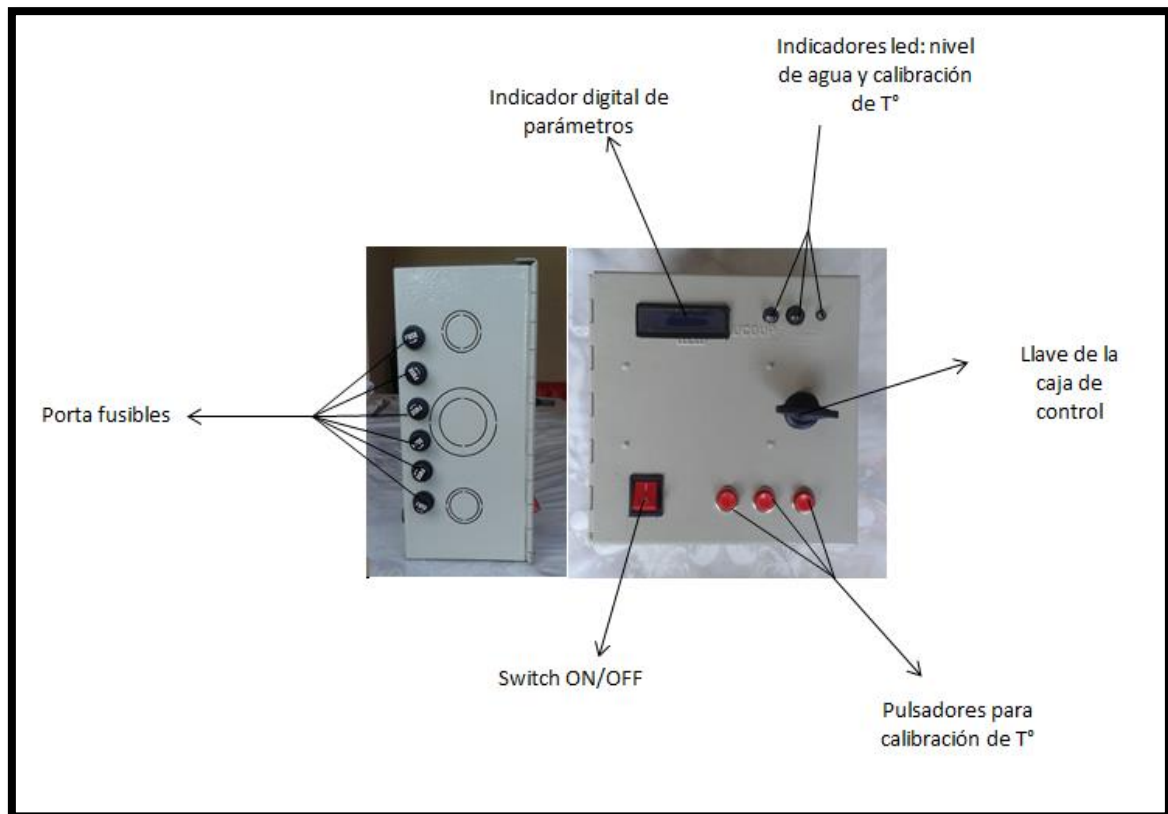
**Figura 27-3: Electroválvula**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

La automatización cuenta también con un sensor de humedad básico de plástico en el interior de la cámara para visualizar, por medio de una pantalla digital, el porcentaje de humedad presente durante la realización de las pruebas. En la misma pantalla se puede visualizar, además del porcentaje de humedad, la temperatura presente en el interior de la cámara de exposición y el nivel de agua en el tanque principal de solución de manera constante.

Se ha tomado en cuenta también que el equipo cuenta con sistemas distintos que se tendrían que encenderse de manera individual, como el ventilador, la resistencia eléctrica, la electroválvula, etc. Por lo tanto la automatización incluye un encendido general del equipo, excepto del compresor, omitiendo el trabajo y la atención en cada uno de los sistemas para ponerlo en funcionamiento.

Para el alojamiento del sistema eléctrico y de control automatizado se ha dispuesto una caja de control que se sitúa en la parte izquierda del equipo y en la que se dispone el switch de encendido y apagado del sistema, la pantalla LED, pulsadores de modificación de rango de temperatura y focos LED necesarios para el correcto funcionamiento de la automatización.



**Figura 28-3: Esquema del panel de control**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

### 3.2.2.12 Soportes de especímenes de prueba

Para mantener a los especímenes de prueba en el ángulo que exige la norma ( $15-30^\circ$ ) se necesitan soportes adecuados para la forma y tamaño de los mismos. Para el diseño del soporte de especímenes de prueba se ha tomado en cuenta los siguientes aspectos:

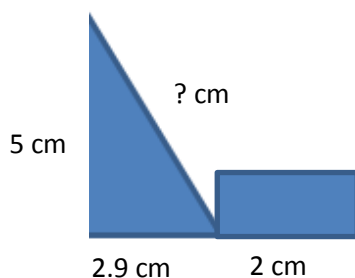
- El tamaño de la cámara de exposición.
- Numero de especímenes de prueba que se va a ensayar.
- Exposición directa a la niebla salina.
- Resistencia a la corrosión.
- Fácil manejo.
- Forma de los especímenes de prueba.

El material que se ha elegido para este soporte es el mismo utilizado en la construcción del tanque auxiliar que está dentro de la cámara de exposición, ya que al estar dentro de la cámara expuesto

continuamente a la niebla salina, debe ser resistente a la corrosión y tener una buena tolerancia a las condiciones que habrá dentro de la cámara.

El diseño efectivo de este soporte se realizó para apoyar a diversas formas especímenes de prueba (ya sea en varilla o placas), que no necesariamente tienen que ser iguales o específicas; ya que al ser utilizado por estudiantes, conseguir las probetas de metal en esta ciudad puede recurrir a excesiva utilización de tiempo y dinero.

Cada sección del soporte tiene una separación de 4.9 cm y con un apoyo dentro de este de 2 cm para mantener un espacio adecuado para que la niebla envuelva todo el espécimen de prueba. La altura de cada sección es de 5 cm, con estas medidas al apoyarse una muestra toma el ángulo de 30°, siendo ideal para los ensayos.



$$c^2 = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$c^2 = \sqrt{5^2 + 2.9^2}$$

$$c^2 = 5.78 \text{ cm}$$

Para calcular el ángulo con esa longitud:

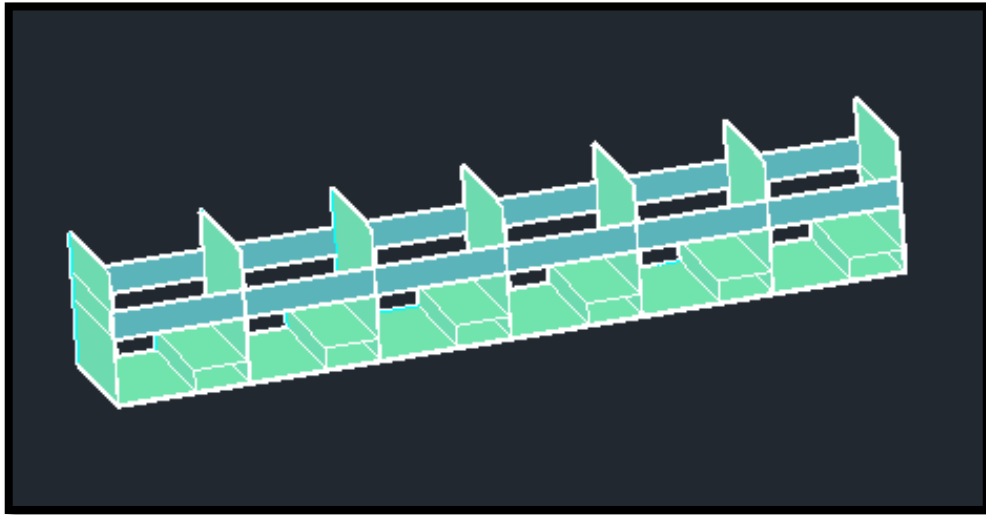
$$\sin B = \frac{2.9}{5.78}$$

$$B = \sin^{-1} \frac{2.9}{5.78}$$

$$B = \sin^{-1} 0.50$$

$$B = 30^\circ$$

Se han construido dos soportes de 31.8x5 cm con capacidad de apoyar a 6 especímenes de prueba en cada uno, siendo la muestra de cualquier metal, numero suficientes para una experimentación favorable en grupos adecuados de estudio. Los espacios entre secciones nos ayuda a mantener el espécimen en el ángulo adecuado de 30°, valor aceptado por las exigencias de la norma ASTM B-117 (15-30°). Los soportes cuentan con los lados cubiertos para evitar que los especímenes de muestra rompan el vidrio si caen o resbalan hacia los costados.



**Figura 29-3: Diagrama del soporte de muestras**

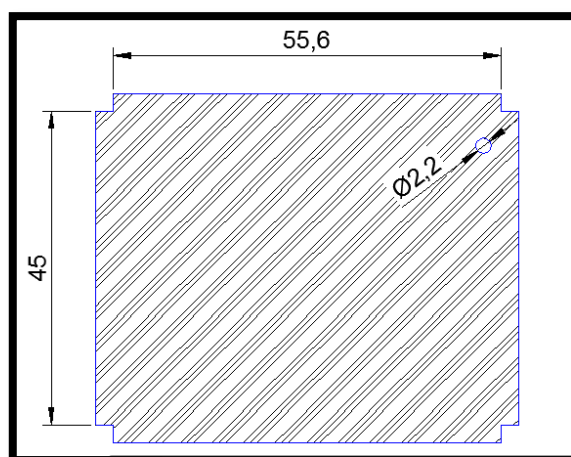
Fuente: Programa Auto CAD

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

### *3.2.2.13 Desagüe y ducto de aireación*

Al ingresar aire comprimido al interior de la cámara de exposición a cierta presión, se necesita contar con un agujero que sirva como escape de la misma y así evitar accidentes y daños al equipo por la explosión de algún componente de la cámara.

El ducto de aireación que se ha dispuesto para el equipo se encuentra en el vidrio inferior que forma parte de la base de la cámara de exposición, con un diámetro de 22 mm y que está en el extremo superior derecho, a 5 cm del corte del vidrio.



**Figura 30-3: Ubicación del ducto de desagüe y aireación**

Fuente: Programa Auto CAD

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A.

El objetivo de la ubicación de este agujero en la base de la cámara es para que, a más de servir como ducto de escape del aire comprimido, funcione como desagüe de la solución que se condensa conforme pasa el tiempo de prueba y el cual está conectado oportunamente a un tubo de desagüe del laboratorio.

#### *3.2.2.14 Unidad de mantenimiento del equipo*

Este equipo está diseñado para la experimentación e investigación dentro del ámbito estudiantil, por lo tanto, es necesario que el equipo esté listo para su uso de manera funcional.

La solución corrosiva con la que se trabaja puede traer consigo pequeñas impurezas, por esta razón se ha dispuesto un filtro pequeño de color negro que funciona con una fina malla de plástico, material ideal para evitar que se corra con la solución, el cual cuenta con un grado de filtración de 120 mesh. Además no se necesita cambiar de filtro porque la malla que retiene las partículas puede lavarse manualmente y ponerse en funcionamiento nuevamente.



**Figura 31-3: Filtro de malla de plástico**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

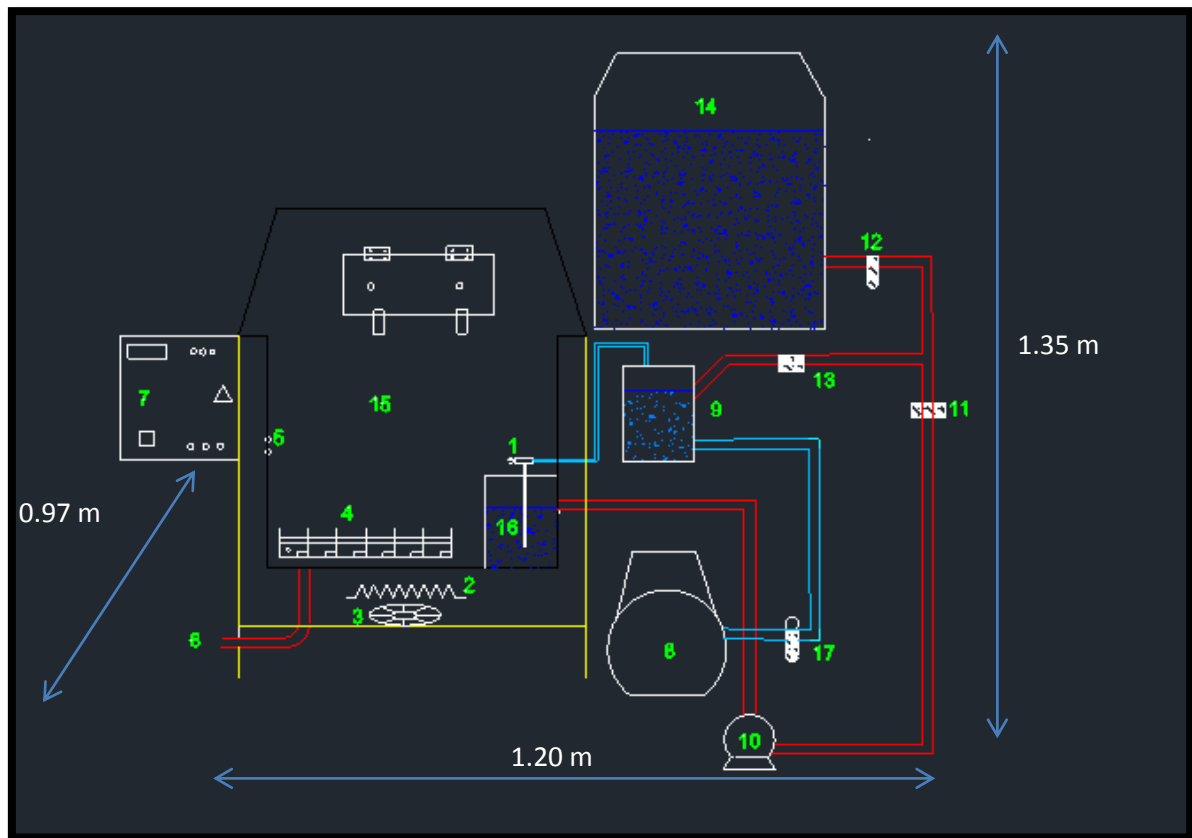
El filtro es un componente muy importante en el funcionamiento del equipo ya que al ser diseñado para el campo estudiantil, puede dar paso a un pequeño margen de error, sin poner en peligro la funcionalidad del equipo para las posteriores pruebas.

#### *3.2.2.15 Dimensionamiento general del equipo*

El equipo ya ensamblado con todas las partes anteriormente explicadas, posee longitudes adecuadas para un equipo de prueba estudiantil, facilitando la observación de todo el proceso en la parte externa e interna del equipo ya que posee accesorios totalmente visibles para la explicación y entendimiento de cada fase en el ensayo de corrosión acelerada efectuada dentro de la cámara de exposición.

Las dimensiones totales del equipo son 1.35 metros de alto tomando en cuenta desde la base hasta el tanque principal de solución, 1.20 metros de ancho, medida tomada desde la pared del equipo hasta el borde del compresor y bomba acoplados en la parte derecha del equipo, y por último el ancho total es de 0.97 metros.





**Figura 32-3: Dimensionamiento general del equipo**

Realizado por Elizabeth Schmiedl y Freddy Audelo. 2017

### 3.3 Proceso de producción

Para la puesta en marcha de la Cámara de Niebla Salina es necesario seguir ciertas técnicas de laboratorio (ANEXO C) que servirán de guía para el estudiante o la persona que será la encargada del manejo y puesta en marcha de cada prueba.



**Figura 33-3: Cámara de niebla Salina**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2016

En este capítulo se describirá los aspectos importantes para el funcionamiento correcto del equipo, las muestras utilizadas en los ensayos y la correcta preparación de la solución corrosiva utilizada en las prácticas.

#### 3.3.1 *Preparación de las muestras*

Las muestras, sean en el formato que sean (varillas o placas), deben ser previamente preparadas para que los resultados obtenidos al final de cada prueba sean más explícitos. Para esto se recurren, como explicamos anteriormente, a tratamientos químicos, con lija o una escobilla fuerte.

La preparación previa se realiza con el fin de tener una superficie igual en cualquier punto y así evitar la corrosión localizada en las muestras a ensayar. Debe tomarse en cuenta el método adecuado para preparar la superficie de las muestras a utilizar, pero por mayor facilidad y costo se puede aplicar la lija.

Para esto se realiza el proceso mecánico de lijar la pieza hasta dejarla libre de impurezas y óxido, para luego completar la limpieza con una franela empapada de alcohol. Dependiendo de la técnica de laboratorio a seguir, se pesa la muestra o se toma nota de las observaciones antes de ingresar a la cámara de niebla salina.

El proceso se repite al final de la prueba para calcular el porcentaje de pérdida de peso en cada pieza a causa de la corrosión.

### **3.3.2 Preparación de la solución**

La solución corrosiva que nos indica la norma para generar la niebla es una solución del 3-5% en peso de NaCl. Ya que este equipo está diseñado para pruebas de cortas de 3 días se trabajará con una solución al 5% en peso de NaCl, para poder evidenciar una aceleración de corrosión en las muestras.

Como se especificó anteriormente la cantidad de solución a utilizarse por día es de 36.58 litros, por lo tanto para un volumen de 40 litros que lleva el tanque principal:

$$\% \frac{P}{V} = \frac{m \text{ soluto}}{V \text{ solución}} * 100$$

Dónde:

% P/V: Porcentaje de peso en volumen

M soluto: masa del soluto (g)

V solución: volumen de solución (ml)

$$40 \text{ L} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 40\,000 \text{ ml}$$

$$5\% = \frac{m \text{ soluto}}{40\,000 \text{ ml}} * 100$$

$$m \text{ soluto} = \frac{5\% (40\,000\text{ml})}{100}$$

$$m \text{ soluto} = 2000 \text{ g de soluto}$$

$$2000 \text{ g de soluto} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 2 \text{ Kg}$$

Entonces para el tanque principal se debe adicionar 2 Kg de NaCl en 40 Litros de agua para preparar la solución al 5 % en peso para el funcionamiento de cada día que se pondrá en funcionamiento el equipo.

El agua utilizada para la preparación de la solución según la norma debe cumplir con requerimientos básicos como que sea agua des ionizada con menos de 200 ppm (partes por millón) de solidos totales presentes, así que el agua destilada puede ser utilizada sin problema. El NaCl debe tener no más de 0,3% de masa de impurezas totales y no más de 0,1% de yodo. La sal de consumo humano cuenta con estos parámetros así que se puede utilizar sin problema.

### **3.3.3 Instrucciones para el uso de la cámara de niebla salina.**

Antes de poner a funcionar el equipo se debe asegurar que este correctamente instalado, tomando ciertos aspectos importantes:

- El equipo debe estar sobre una superficie plana.
- La conexión eléctrica debe estar cerca y debe ser de 110 V.
- Asegurarse que las conexiones que llevan la solución no tengan fugas.
- Se debe asegurar que todos los componentes del equipo estén en su lugar.
- Antes de usar la cámara de niebla salina se debe tomar en cuenta la preparación adecuada de la misma.

Luego de haberse asegurado que la instalación del equipo es totalmente correcta se puede poner en marcha la cámara de niebla salina siguiendo los siguientes pasos:

1. Primeramente es necesario preparar la solución correctamente como se explicó anteriormente con el volumen adecuado para cada día de prueba y llenarlo en el tanque principal de solución,

hasta la marca con cuidado, de donde se abastecerá a los demás tanques para llevar a cabo la prueba.

2. Verificar que la llave de salida del aire comprimido este cerrada para evitar que el agua del humidificador regrese al compresor.
3. Luego debe abrirse la llave de bolas para llenarse el tanque humidificador hasta la marca de 3 litros, suficiente para la función de humedecer el aire comprimido. Cerrar nuevamente al llegar al volumen indicado.
4. Se debe colocar dentro de la cámara de exposición (soporte), las muestras previamente preparadas y pesadas, para el registro de resultados.
5. Cerrar los broches de la puerta de la cámara para ayudar a la hermeticidad.
6. Conectar el enchufe al toma corriente de electricidad de 110 V del equipo y del compresor.
7. Encender el compresor con la llave cerrada y dejar que cargue completamente.
8. Para encender el equipo se debe presionar el switch ON, esto provocará que se ponga en funcionamiento simultáneamente el ventilador, resistencia eléctrica, bomba y dé paso al llenado del tanque auxiliar donde abastecerá la solución para la generación de la niebla salina.
9. Abrir conjuntamente las llaves de salida del aire comprimido.
10. Luego en el panel de control se debe programar el rango de temperatura (Temperatura mayor y temperatura menor) con el que se desee trabajar durante la prueba.
11. Asegurarse en el manómetro del compresor que la presión de salida del mismo es la correcta.
12. Cada 24 horas se debe volver a llenar el tanque de solución principal para que se abastezca la solución de manera continua. El nivel de agua de este tanque aparece de manera continua en la pantalla del panel de control y se encenderá un foco led de color rojo cuando el nivel de agua sea muy bajo.
13. Para apagar la cámara de niebla salina, al final de la prueba, se debe presionar el switch OFF.
14. Se debe cerrar las llaves de salida de aire comprimido y apagarlo para evitar que la solución regrese al compresor.
15. Se debe vaciar los tanques por medio de las llaves de agua con mucho cuidado, para evitar accidentes por la conducción eléctrica del agua con NaCl.
16. Sacar las muestras con mucho cuidado para valorar visualmente y por medio del método de pérdida de peso.
17. Lavar la cámara de exposición con abundante agua, la cual se evacuará por el desagüe instalado en la base de la cámara.
18. Desconectar del toma corriente.

Siguiendo los pasos explicados anteriormente se garantiza una prueba óptima y con resultados visibles a las 24 horas de empezar la prueba. Además con la utilización correcta del equipo se

evitará accidentes para el personal que lo maneja y también se mantendrá la integridad y funcionalidad de la cámara de niebla salina.

#### **3.3.4 Validación de la cámara de niebla salina**

Para conservar un respaldo de la veracidad y funcionalidad del proyecto hemos realizado 3 pruebas con materiales igualmente utilizados en la simulación del equipo descrita anteriormente. Y también hemos puesto a disposición el equipo para el desarrollo de una de las técnicas diseñadas para el uso del equipo junto a los estudiantes de octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, que reciben la cátedra de corrosión.

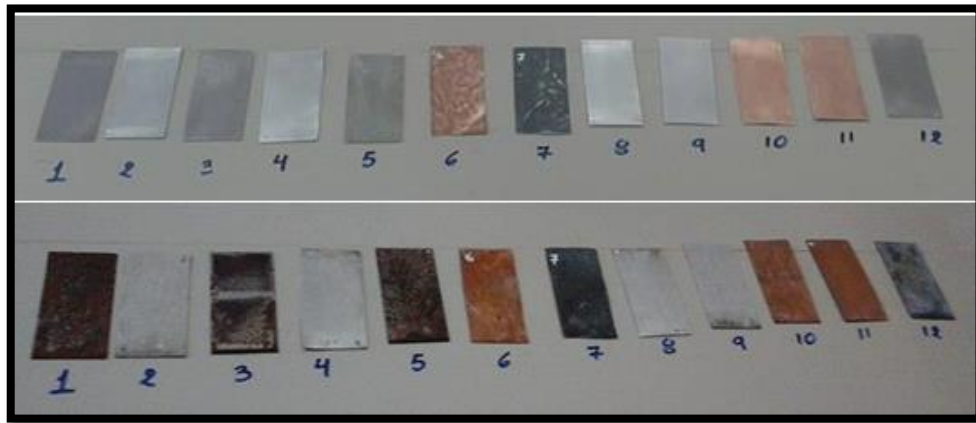


**Figura 34-3: Validación estudiantes de Octavo semestre IQ. ESPOCH**  
Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2017

Con los estudiantes se realizó el desarrollo de la técnica de la determinación del grado de corrosión de un metal por medio del método de pérdida de peso, ya que en esta técnica se basa la funcionalidad del equipo, y para lo cual se organizó 6 grupos de estudiantes. Las pruebas duró 24 horas, tiempo suficiente para obtener resultados visibles adecuados para una comparación y toma de datos.

Los materiales utilizados en la prueba fueron: Acero dulce, cobre, aluminio y zinc. Se utilizaron placas de 10x5 cm aproximadamente, las cuales fueron preparadas adecuadamente antes de realizar el pesaje de las mismas y la introducción en la cámara de niebla salina.

Se acordó dar seguimiento a 2 placas por grupo; es decir, en el equipo se introdujeron 12 placas, llenado por completo los soportes de especímenes.



**Figura 35-3: Antes y después muestras de validación de equipo**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2017

#### 3.3.4.1 Cálculos

Antes de empezar la prueba se lijó y limpió con alcohol los especímenes de prueba para que estén libres de impurezas y la superficie sea homogénea. Los pesos de cada placa son especificados en la siguiente tabla:

**Tabla 8-3: Datos experimentales validación de la cámara de niebla salina**

Ensayo	Material	Peso inicial (gr)
Validación 1	Acero (AISI 1015)	31.54
	Aluminio	12.36
	Cobre	22.76
	Zinc	15.24
Validación 2	Acero (AISI 1015)	30.44
	Aluminio	14.33
	Cobre	22.97
	Zinc	14.67
Validación 3	Acero (AISI 1015)	31.01

	Aluminio	12.98
	Cobre	21.74
	Zinc	15.12

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo, 2016

**Tabla 9-3: Datos experimentales determinación de corrosión por pérdida de peso**

TEMPERATURA	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)
35°C	Acero (AISI 1015)	35.00
	Aluminio	19.60
	Acero (AISI 1015)	34.56
	Aluminio	20.34
	Acero (AISI 1015)	34.38
	Cobre	9.32
	Zinc	11.08
	Aluminio	19.60
	Aluminio	19.54
	Cobre	42.90
	Cobre	44.58
	Zinc	33.40

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo, 2016

Posteriormente se procedió a la preparación de la solución corrosiva. Para esto se preparó una solución al 5% de NaCl en 40 L de agua purificada, la misma que se cargó en el tanque principal para dar paso al llenado manual al humidificador y automático al tanque auxiliar.

$$\% \frac{P}{V} = \frac{m \text{ soluto}}{V \text{ solución}} * 100$$

Dónde:

% P/V: Porcentaje de peso en volumen

M soluto: masa del soluto (g)

V solución: volumen de solución (ml)

$$40 \text{ L} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 40\,000 \text{ ml}$$



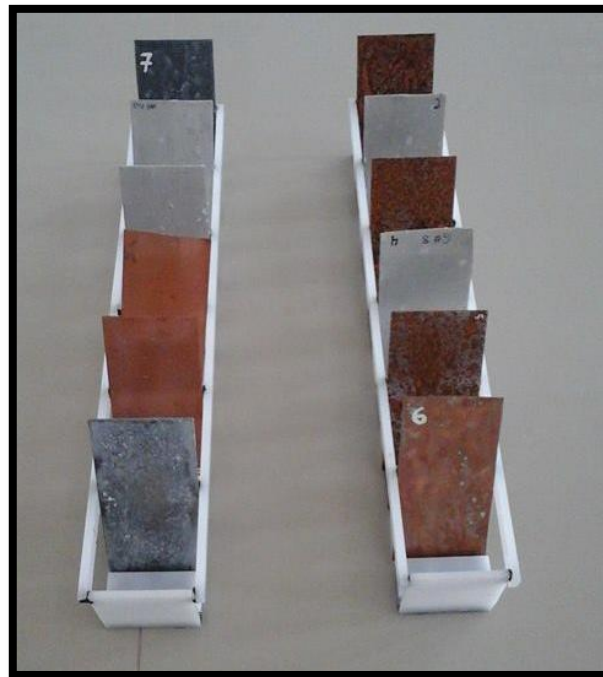
$$5\% = \frac{m \text{ soluto}}{40\,000 \text{ ml}} * 100$$

$$m \text{ soluto} = \frac{5\% (40\,000 \text{ ml})}{100}$$

$$m \text{ soluto} = 2000 \text{ g de soluto}$$

$$2000 \text{ g de soluto} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 2 \text{ Kg}$$

A continuación se introdujo los especímenes de prueba en la cámara de niebla salina, apoyándolos en los soportes y se dio paso al aire comprimido con el cual se generaría la niebla salina dentro de la cámara.



**Figura 36-3: Muestras en el soporte de especímenes**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2017

La prueba finalizó al cumplirse las 24 horas con resultados considerables para el cálculo del porcentaje de peso perdido durante la prueba. Para pesar nuevamente se lijó y limpió todas las impurezas, así se obtiene el peso que se perdió gracias a la corrosión, cálculos que se realizan a continuación para cada espécimen:

$$P \text{ perdido} = P \text{ inicial} - P \text{ final}$$

Dónde:

P perdido (g): Peso perdido por corrosión.

P inicial (g): Peso de la muestra antes de la prueba.

P final (g): Peso de la muestra al final de la prueba.

$$P \text{ perdido}_1 = P \text{ inicial}_1 - P \text{ final}_1$$

$$P \text{ perdido}_1 = (35.00 - 34.50) \text{ gr}$$

$$P \text{ perdido}_1 = 0.5 \text{ gr}$$

Para el porcentaje de pérdida de cada muestra:

$$\% \text{ pérdida} = \frac{P \text{ perdido} * 100 \%}{P \text{ inicial}}$$

Dónde:

% Pérdida: porcentaje de material perdido durante la prueba.

P perdido: peso perdido en gramos de la muestra

P inicial: peso en gramos de la muestra antes de la prueba.

$$\% \text{ pérdida}_1 = \frac{P \text{ perdido}_1 * 100 \%}{P \text{ inicial}_1}$$

$$\% \text{ pérdida}_1 = \frac{0.5 \text{ gr} * 100 \%}{35.00 \text{ gr}}$$

$$\% \text{ pérdida}_1 = 1.43 \%$$

#### 3.5.4.2 Resultados

A continuación se describe los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la validación de la cámara de niebla salina ya construida y los datos obtenidos junto a los estudiantes de octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH.

**Tabla 10-3: Resultados de validación de la cámara de niebla salina**

Ensayo	Material	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Peso perdido (gr)
Validación 1	Acero (AISI 1015)	31.54	30.25	1.29
	Aluminio	12.36	12.07	0.29
	Cobre	22.76	22.26	0.50
	Zinc	15.24	13.95	1.29
Validación 2	Acero (AISI 1015)	30.44	28.93	1.51
	Aluminio	14.33	14.00	0.33
	Cobre	22.97	22.51	0.46
	Zinc	14.67	13.31	1.36
Validación 3	Acero (AISI 1015)	31.01	29.54	1.47
	Aluminio	12.98	12.67	0.31
	Cobre	21.74	21.26	0.48
	Zinc	15.12	13.79	1.33

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016

**Tabla 11-3: Resultados de la Práctica de la determinación de grado de corrosión**

Material	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Peso perdido (gr)	Porcentaje de perdida (%)
(1) Acero (AISI 1015)	35.00	34.50	0.50	1.43
(2) Aluminio	19.60	19.54	0.06	0.31
(3) Acero (AISI 1015)	34.56	33.96	0.60	1.74
(4) Aluminio	20.34	20.20	0.14	0.69
(5) Acero (AISI 1015)	34.88	34.48	0.40	1.15
(6) Cobre	9.32	9.20	0.12	1.29
(7) Zinc	11.08	10.90	0.18	1.62
(8) Aluminio	19.60	19.38	0.22	1.12
(9) Aluminio	19.54	19.26	0.28	1.43
(10) Cobre	42.90	42.42	0.48	1.12
(11) Cobre	44.58	44.22	0.36	0.81

(12) Zinc	33.40	32.94	0.46	1.38
-----------	-------	-------	------	------

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2017

### 3.5.4.3. Análisis de resultados

En los 3 ensayos realizados para la validación del equipo, obtuvimos resultados muy parecidos como se esperaba al poner a prueba los mismos materiales que en la simulación a escala de laboratorio, ya que el acero AISI 1015 tuvo mayor grado de corrosión con respecto a los otros metales con pérdidas de 1.29 gr, 1.51 gr y 1.47 gr, respectivamente para cada uno de los ensayos. Siguiendo a éste las muestras de zinc tuvieron más afectación con respecto al cobre y aluminio con pérdidas de 1.29 gr, 1.36 gr y 1.33 gr en cada ensayo respectivamente.

Por otro lado los materiales con menos afectación en cada ensayo fueron el cobre y el aluminio con pérdidas para el primero de 0.50 gr, 0.46 gr y 0.48, y para el segundo se obtuvieron pérdidas de 0.29 gr, 0.33 gr y 0.31 gr en cada uno de los ensayos.

En cambio en los resultados obtenidos en el desarrollo de la técnica de la determinación del grado de corrosión por medio del método de pérdida de peso, la misma que se realizó conjuntamente con los estudiantes de octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, se pudo evidenciar que en las placas de acero AISI 1015 el grado de corrosión medido por el método de pérdida de peso fue el más alto con respecto a los demás materiales, ya que al terminar la prueba las placas de este material tuvieron 0.60 gr, 0.50 gr y 0.40 gr de pérdida de acuerdo a su peso original, siendo los más afectados. Por otro lado las placas de cobre número (11), aluminio número (2) y (4) fueron las menos afectadas con 0.36 gr, 0.06 gr y 0.14 gr respectivamente. Las placas de zinc tuvieron una afectación parecida al acero dulce ya que su peso perdido en las placas (7) y (12) fue 0.18 gr y 0.46 gr respectivamente, comprobando que su resistencia en este tipo de ambiente corrosivo no es el mejor.

Los metales que presentaron mayor resistencia a la corrosión con condiciones de 35°C de temperatura y exposición a niebla salina por 24 horas fueron: el cobre y el aluminio. Aun así presentaron el óxido característico de cada metal: verde y negro respectivamente.

La temperatura de 35° C, exigida por la norma ASTM B-117, es la temperatura adecuada para crear un ambiente corrosivo óptimo, ya que se obtuvieron resultados en solo 24 horas de ensayo, combinándolo con los demás parámetros a los que se debe exponer la muestra. Además que

solamente se necesitó un volumen de 40 litros de solución corrosiva al 5% de NaCl para obtener resultados visibles.

Al validarse el equipo por medio de una práctica de laboratorio se pudo comprobar que el equipo funciona como una herramienta didáctica para despejar dudas y generar curiosidad en cuanto al tema de corrosión.

#### 3.5.4.4 Comparación de resultados entre simulación, validación y práctica de laboratorio

Los resultados obtenidos entre la simulación y la validación del equipo real llevados a cabo a la temperatura de 35° C, fueron muy parecidos ya que al observarse el peso perdido entre los metales expuestos el acero fue el más afectado, seguido por el cobre y el aluminio. El zinc por el contrario tubo mayor peso perdido en la validación del equipo real, ya que las condiciones llevadas en el mismo fueron más controladas y específicas como la temperatura y el % de humedad dentro de la cámara.

Si observamos la Tabla 12-3 en la que se compara entre los resultados numéricos más significativos en la simulación, validación y práctica de laboratorio realizada todas con los parámetros que la norma ASTM B-117 exige, se puede evidenciar que en la validación y la práctica de laboratorio los resultados son más contundentes gracias a que el peso perdido es más grande exponiendo el metal a 24 horas, que en la simulación que se llevó a 72 horas de ensayo.

El acero en la simulación y validación del equipo tiene un peso perdido de 1.26 gr y 1.51 gr respectivamente, sin embargo en la práctica de laboratorio que se realizó junto a los estudiantes de octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, el valor de peso perdido en el mismo material es mucho menor con respecto a los otros ensayos con 0.60 gr de perdida. Este valor puede deberse a una falla humana al no retirar correctamente el óxido e impurezas del material al no utilizar una lija adecuada para esa función.

**Tabla 12-3: Comparación entre simulación, validación y práctica de laboratorio**

ENSAYO	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	PESO PERDIDO (gr)
<b>SIMULACIÓN DEL EQUIPO</b>	ACERO (AISI 1015)	30.30	29.04	1.26
	COBRE	27.44	27.16	0.28

	ALUMINIO	10.06	9.98	0.08
	ZINC	8.56	8.54	0.02
<b>VALIDACIÓN DEL EQUIPO</b>	ACERO (AISI 1015)	30.44	28.93	1.51
	COBRE	22.97	22.51	0.46
	ALUMINIO	14.33	14.00	0.33
	ZINC	14.67	13.31	1.36
<b>PRÁCTICA DETERMINACIÓN DE GRADO DE CORROSIÓN</b>	ACERO (AISI 1015)	34.56	33.96	0.60
	COBRE	42.90	42.42	0.48
	ALUMINIO	19.54	19.26	0.28
	ZINC	33.40	32.94	1.38

Realizado por: Elizabeth Schmiedl y Freddy Audelo, 2017

Si comparamos entre los demás valores obtenidos con respecto a los materiales ensayados y a las pruebas realizadas, se puede observar que los resultados son mejores en la validación y la práctica de laboratorio, en comparación a la simulación, considerando que las pruebas simuladas fueron realizadas en 72 horas de exposición, y las pruebas de validación y práctica de laboratorio fueron realizadas solo en 24 horas de exposición, obteniendo resultados incluso mejores que en la simulación. En la simulación la única variable que se pudo controlar de manera efectiva fue la temperatura, en cambio en el equipo real se cuenta con herramientas acordes a los demás parámetros exigidos por la norma ASTM B-117, los cuales se pueden controlar automáticamente gracias al sistema de control general del equipo. Por esta razón se obtuvieron resultados más exactos y en menor tiempo.



**Figura 37-3: Variables controladas en equipo real**

Realizado por Elizabeth S. y Freddy A., 2017

### 3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Para la construcción de la Cámara de Niebla Salina hubo varios componentes básicos necesarios para armar el equipo en sí, y los cuales se mencionan en la siguiente tabla:

**TABLA 3.4-1 Requerimientos para la construcción del equipo**

SISTEMA / COMPONENTE	Tecnología/Equipo/Maquinaria
<b>Soporte del equipo</b>	Suelda
<b>Cuerpo de la cámara de exposición</b>	Vidrio templado negro Silicona negra parabrisas
<b>Tapa de la cámara de exposición</b>	Vidrio templado negro Silicona negra parabrisas
<b>Humidificador</b>	Bomba de fumigar Conexiones de agua Taladro
<b>Tanque auxiliar de solución</b>	Acrílico Conexiones de agua Taladro
<b>Tanque principal de solución</b>	Tanque de 60 litros Conexiones de agua Taladro
<b>Sistema de calefacción de la cámara</b>	Resistencia tubular electrica 1500W Ventilador metálico marca EVL de 470 mA. Conexiones electricas
<b>Sistema de generación de niebla</b>	Pistola aerográfica Manguera para conexiones
<b>Sistema de suministro de aire</b>	Compresor Dogsong ¾ Hp. Manguera para conexiones.
<b>Cubierta externa de la cámara</b>	Tol galvanizado Suelda Remachadora Aislante térmico Taladro
<b>Sistema eléctrico y de control</b>	Automatización Panel de control

	Conexiones eléctricas
<b>Soporte de especímenes de prueba</b>	Acrílico Silicona
<b>Desagüe y ducto de aireación</b>	Conexiones de agua
<b>Unidad de mantenimiento del equipo</b>	Filtros de malla de plástico Filtro de aire con regulador de presión

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016

**TABLA 3.4-2 Requerimientos para el funcionamiento**

NECESIDAD	MATERIAL
Solución salina al 5%	NaCl y Agua purificada
Especímenes de prueba	Hierro, Aluminio, Acero, etc.
Protección contra corrosión	Pinturas, recubrimientos, etc.

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016

### 3.5 Análisis de Costo/beneficio del proyecto

En la siguiente tabla se incluirá los costos de cada una de las partes y componentes que se utilizaron en la construcción de la Cámara de Niebla Salina:

**Tabla 13-3: Presupuesto general para la construcción del equipo**

GASTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CÁMARA DE NIEBLA SALINA		
MATERIAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
<b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN</b>		
<b>CÁMARA DE EXPOSICIÓN</b>		
Vidrio templado	12	\$298.27
Bisagras	2	\$3.10
Broches de palanca	2	\$7.25
<b>SOPORTE DE LA CÁRAMA</b>		
Tubo cuadrado de 1 pulgada de	3	\$99.00



acero inoxidable		
Varilla de acero inoxidable	2	\$70.00
<b>TANQUE HUMIDIFICADOR</b>		
Bomba para fumigar	1	\$11.00
Difusor de aire	1	\$1.50
<b>TANQUE AUXILIAR</b>		
Acrílico	8	\$30.00
Silicona	1	\$11.15
<b>TRANSPORTE DE SOLUCIÓN Y AIRE</b>		
Manguera reforzada	1	\$3.00
Tubo para agua caliente	2 m	\$6.00
Codos de 90°	4	\$1.80
Codos de 45°	2	\$0.90
Uniones de ½ “	6	\$2.10
Reducciones de ½ “	2	\$4.60
Acople bushing ½ “	2	\$1.60
T de ½ “	1	\$1.00
Válvula esférica con acabado de cromo	1	\$4.50
Empaques	6	\$1.80
Llaves de agua	2	\$4.00
<b>AUTOMATIZACIÓN</b>		
Caja de control 20 x 20 cm	1	\$20
Pantalla led 16x4	1	\$8.00
Sensor de Temperatura y humedad	1	\$15.60
Medidor de nivel tipo flotador	2	\$60.00
Porta fusibles	6	\$1.80
Fusibles	6	\$0.48
Conector molex	8	\$4.00
Placas impresas	2	\$40.00
Cable numero 18 AWG	10	\$1.80
Pulsadores	3	\$23.00
Focos led	3	\$2.00
Switch on/off	1	\$1.25

Estaño	1	\$8.50
Varios	1	\$55.46
<b>OTROS</b>		
Teflón	6	\$2.10
Resina epoxídica	2	\$7.00
Abrazaderas	4	\$1.00
Aislante térmico	3	\$9.82
Auto fundente	1	\$10.00
Ruedas	8	\$4.56
Pintura anticorrosiva	1	\$5.00
Varios	1	\$166.60
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$1010.54</b>
<b>COMPONENTES DEL EQUIPO</b>		
Compresor	1	\$229.50
Resistencia tubular eléctrica 1500 W	1	\$80.00
Ventilador metálico marca EVL	1	\$18.50
Tanque principal de solución	1	\$20.00
Bomba de succión 0.5 Hp	1	\$29.45
Electroválvula	2	\$20.00
Pistola Aerográfica	1	\$8.00
Filtro de aire TRUPER	1	\$25.86
Filtro de malla de plástico	1	\$8.30
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$439.61</b>
<b>MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCIÓN</b>		
Cámara de exposición	1	\$150.00
Soporte de la Cámara	1	\$300.00
Automatización	1	\$190.00
Montaje de componentes	1	\$100.00
Varios	1	\$100.00
<b>SUBTOTAL</b>		<b>\$840.00</b>
<b>TOTAL</b>		<b>\$2290.15</b>

Realizado por: Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016

**Tabla 14-3: Presupuesto para la operación del equipo**

<b>PRESUPUESTO PARA LA OPERACIÓN</b>		
Agua purificada	40 L	\$6.00
NaCl común	2 kg	\$2.00
Muestras	12	\$12.00
<b>TOTAL</b>		<b>\$20.00</b>

**Realizado por:** Elizabeth Schmiedl, Freddy Audelo 2016

Como se puede observar el costo de la construcción e implementación de este proyecto es un valor cómodo a diferencia de las cámaras de niebla salina comerciales que pueden llegar hasta un valor de \$6000.00, además una prueba de niebla salina puede llegar a costar de \$1000.00 en adelante dependiendo de la prueba. También se puede evidenciar que el equipo que se ha diseñado esta acoplado a las necesidades y condiciones de los estudiantes, condiciones que las cámaras de niebla salina comerciales no toman en cuenta ya que son utilizadas para la investigación de cadenas industriales. El costo de operación es relativamente bajo para un grupo de estudiantes, ya que la obtención del volumen de agua destilada puede ser costosa a diferencia del agua purificada, además que hay facilidad de la forma de las muestras para evitar gastos y dificultades.

### 3.6 Cronograma de ejecución del proyecto.

Las actividades realizadas en la ejecución y elaboración del proyecto están descritas en el siguiente cronograma que está dividido en varios meses desde la recopilación de información hasta la validación y entrega del equipo.

ACTIVIDADES	MES	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO			
	SEMANA	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación de información																									
Simulación a escala de laboratorio																									
Diseño de la cámara de niebla salina																									
Construcción de la cámara de niebla salina																									
Elaboración del trabajo escrito																									
Elaboración del manual del equipo																									
Validación del equipo																									
Defensa del proyecto																									

## CONCLUSIONES

- Para realizar el proyecto se determinó que la variable más importante en el diseño y construcción de la Cámara de Niebla Salina fue la temperatura de 35°C con un rango de variación de +1.1°C y -1.7°C, ya que ésta determina la funcionalidad de los demás parámetros que influyen en la generación del ambiente corrosivo óptimo que la norma ASTM B-117 exige para obtener ensayos acelerados del proceso corrosivo, como el % de humedad que debe estar entre 95-97%, la misma que es generada con una presión de 23 psi en nuestro equipo.
- A más de las variables de diseño y construcción del equipo, se realizaron los cálculos necesarios para el dimensionamiento de la cámara y tanques adicionales necesarios para el correcto funcionamiento de la Cámara de niebla salina, como la velocidad de atomización de la solución que es de 0.01846 L/min del cual se determinó el volumen mínimo de 40 L del tanque principal y 5 L del tanque auxiliar de solución corrosiva que se gastará en 4.51 horas, además de determinar el tamaño correcto de la cámara de exposición para albergar todos los accesorios que ingresaran dentro de la misma, como el soporte de especímenes; con diseño especial para lograr un ángulo de 30 ° entre la muestra y la atomización de la niebla.. Igualmente la tapa de la cámara de exposición debe tener un ángulo especial de 90° mínimo para que la niebla condensada no caiga directamente sobre los especímenes, es así que gracias a las medidas de la base obtuvimos un ángulo de abertura de la tapa de 90.47°.
- Los materiales seleccionados en la construcción de la Cámara de Niebla Salina fueron basados en las especificaciones de la norma en la que se ha basado la elaboración de este proyecto y en la variable más importante determinada en la simulación a escala de laboratorio, tomando en cuenta materiales resistentes a la solución corrosiva, como plástico, y a la variación de temperatura, como el vidrio templado, parámetros fundamentales en la elección de los demás materiales con los que se construyó el equipo.
- Para el adecuado uso del equipo se ha desarrollado un manual y 3 técnicas de laboratorio correspondientes a la determinación del grado de corrosión de un metal por medio del método de pérdida de peso, comparación entre un material recubierto y otro sin recubrir y una técnica que demuestre la influencia de la temperatura en el proceso corrosivo, herramientas para la guía oportuna del estudiante o responsable del manejo de la Cámara de Niebla Salina, evitando así confusiones y daños en la estructura o procesos del equipo.
- Para realizar la validación acerca de la funcionalidad del equipo que se ha construido, se organizó el desarrollo de las técnicas diseñadas para el uso de la Cámara de niebla Salina, de manera repetitiva, junto a los estudiantes de octavo semestre de la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH, quienes reciben la cátedra de corrosión, siendo la técnica de la determinación del grado de corrosión de un metal por medio del método de pérdida de peso la

más importante, ya que en esta se basa la funcionalidad del equipo, manteniendo todos los parámetros del proceso corrosivo acelerado acorde a las exigencias de la norma ASTM B-117, obteniendo resultados en tan solo 24 horas de ensayo.

- El proyecto DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA DE NIEBLA SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE CORROSIÓN PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA ESPOCH, es un proyecto totalmente factible en el tema de costos ya que la construcción total de equipo asciende a los \$2290.15, el mismo, es un valor aceptable en comparación a la compra de una Cámara de Niebla Salina que se oferta en el mercado, con la misma funcionalidad y adaptada a las necesidades de los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH.

## RECOMENDACIONES

- Para la utilización del equipo se recomienda utilizar muestras de dimensiones mínimas de 8 cm y máximas de 20 cm, tomando en cuenta las dimensiones y diseño del soporte de las muestras.
- Se debe utilizar la Cámara de Niebla Salina por un máximo de 3 días (72 horas) por prueba, tiempo suficiente para la obtención de resultados visibles, sin necesidad de sobre esforzar el equipo, considerando que el equipo está diseñado para el uso de estudiantes.
- Se puede realizar pruebas con otras sustancias corrosivas, tomando en cuenta que dicha sustancia no afecte el material que forma parte del equipo, como el uso de una solución de ácido acético al 5%, haciendo alusión a la norma ASTM B-287, la misma que hace referencia a la generación de un ambiente corrosivo con niebla generada por dicha solución.
- Se puede diseñar y construir otros soportes de muestras de acuerdo a la forma y tamaño de los especímenes de prueba que se van a estudiar en un futuro.
- Cuando el equipo necesite mantenimiento se debe reemplazar las piezas con materiales y accesorios parecidos y con la misma funcionalidad de las actualmente utilizadas.
- Se recomienda hacer chequeos regulares durante el funcionamiento del equipo en cada prueba para evitar accidentes por la alta conducción eléctrica de la solución de NaCl.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**ASKELAND, Donald R. y PHULÉ, Pradeep P.** *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico : International Thomson Editores S. A., 2004, p. 12.

**ARIAS CÓRDOBA , CARLOS A, CALVO HENAO , ERWIN y OCHOA JARAMILLO , JOSÉ I.** *Diseño Y Construcción De Una Cámara De Niebla Salina* . Scientia et Technica Año XIII. Septiembre 2007. p. 36.

**ASTM STANDARD B117.** *Standard practice for operating salt spray apparatus*. s.l. : American Society for Testing and materials, 1995.

**ÁVILA , JAVIER y GENESCÁ, JOAN.** *Mas Allá de la Herrumbe*. Mexico : Fondo de Cultura Económica, 1987.

**CHAMPION, F.A.** *Ensayos De Corrosión*. España : URMO, 1970.

**CORPAS, F. A., y OTROS.** *Comportamiento frente a la corrosión de los aceros inoxidables AISI 430L P/M..* BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CERAMICA Y VIDRIO, 2003. pp. 193-195.

**DOMINGUEZ, JORGE.** *Introducción a la Corrosión y Protección de Metales*. Cuba : ENPES, 1987. pp. 1-11.

**DIAZ, J. E., Y OTROS.** *Efecto de la corrosión en la resistencia a la tracción de las aleaciones UNS A92024 Y UNS A97075*. Chile. Universidad de Cádiz: XVII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA , 2011

**FERRER, Antonio, PINILLA, Carlos y CADENA, Evelio.** *Diseño y Fabricación de una Cámara de Niebla Salina para Realizar Ensayos de Corrosión, Según la Norma ASTM B117 para el Laboratorio de materiales de la Fundación Universitaria Los Libertadores*. Bogotá, Colombia : Institucion Universitaria Los Libertadores, 2015. pp. 20-21

**FONTANA, Mars y GREENE, Norbert.** *Corrosion Engineering*. New York: Mc Graw Hill, 1967. pp. 215-322



**GÓMEZ DE LEÓN HIJES, FÉLIX C y ALCARAZ LORENTE, DIEGO J. 2004.** *Manual básico de corrosión para Ingenieros.* Murcia : Universidad de Murcia, 2004.

**JIRADO TAJAN, NIDIA y PINZÓN CANDELARIO, MANUEL.** *Aspectos de Diseño de un Equipo de Análisis de Corrosion Por Niebla Salina.* Scientia et Technica. 2005.

**NOTE, GALVINFO.** *Ensayo de Niebla Salina.* Galvinfo center. 2007. pp. 1-5.

**OTERO HUERTA, ENRIQUE.** *Corrosión y degradación de materiales.* España : SINTESIS, 2012.pp. 20-196

**REVELAN EL COSTO GLOBAL DE LA CORROSIÓN.** [En línea] 14 de 06 de 2016. [Citado el: 28 de 12 de 2016.] <http://www.inpralatina.com/201606146395/noticias/empresas/revelan-el-costo-global-de-la-corrosion.html>.

**SMITH, WILLIAM F. y HASHEMI, JAVAD.** *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales.* Mexico : Mc Graw Hill, 2004.pp. 765-766

**VALE, J., CORTES, V. y MARTÍN, A.** *Ensayos de materiales en atmósferas simuladas.,* Materiales de Construcción, 1983. pp. 53-67.

**VERA, R M y CAÑAS, F J.** *Comportamiento Frente a la Corrosión en Ambiente Marino de Acero Galvanizado y Acero Galvanizado Pintado (Duplex).* Información Tecnológica, 2005. pp. 53-58.



Designation: B 117 – 03

## Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation B 117; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

### 1. Scope

1.1 This practice covers the apparatus, procedure, and conditions required to create and maintain the salt spray (fog) test environment. Suitable apparatus which may be used is described in Appendix X1.

1.2 This practice does not prescribe the type of test specimen or exposure periods to be used for a specific product, nor the interpretation to be given to the results.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The inch-pound units in parentheses are provided for information and may be approximate.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

- B 368 Method for Copper-Accelerated Acetic Acid-Salt Spray (Fog) Testing (CASS Test)<sup>2</sup>
- D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products<sup>3</sup>
- D 1193 Specification for Reagent Water<sup>4</sup>
- D 1654 Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments<sup>3</sup>
- E 70 Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode<sup>5</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G01 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved October 1, 2003. Published October 2003. Originally approved in 1939. Last previous edition approved in 2002 as B 117 – 02.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.05.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

<sup>4</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.01.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.05.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

### G 85 Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing<sup>7</sup>

### 3. Significance and Use

3.1 This practice provides a controlled corrosive environment which has been utilized to produce relative corrosion resistance information for specimens of metals and coated metals exposed in a given test chamber.

3.2 Prediction of performance in natural environments has seldom been correlated with salt spray results when used as stand alone data.

3.2.1 Correlation and extrapolation of corrosion performance based on exposure to the test environment provided by this practice are not always predictable.

3.2.2 Correlation and extrapolation should be considered only in cases where appropriate corroborating long-term atmospheric exposures have been conducted.

3.3 The reproducibility of results in the salt spray exposure is highly dependent on the type of specimens tested and the evaluation criteria selected, as well as the control of the operating variables. In any testing program, sufficient replicates should be included to establish the variability of the results. Variability has been observed when similar specimens are tested in different fog chambers even though the testing conditions are nominally similar and within the ranges specified in this practice.

### 4. Apparatus

4.1 The apparatus required for salt spray (fog) exposure consists of a fog chamber, a salt solution reservoir, a supply of suitably conditioned compressed air, one or more atomizing nozzles, specimen supports, provision for heating the chamber, and necessary means of control. The size and detailed construction of the apparatus are optional, provided the conditions obtained meet the requirements of this practice.

4.2 Drops of solution which accumulate on the ceiling or cover of the chamber shall not be permitted to fall on the specimens being exposed.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.02.

4.3 Drops of solution which fall from the specimens shall not be returned to the solution reservoir for respraying.

4.4 Material of construction shall be such that it will not affect the corrosiveness of the fog.

4.5 All water used for this practice shall conform to Type IV water in Specification D 1193 (except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). This does not apply to running tap water. All other water will be referred to as reagent grade.

## 5. Test Specimens

5.1 The type and number of test specimens to be used, as well as the criteria for the evaluation of the test results, shall be defined in the specifications covering the material or product being exposed or shall be mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

## 6. Preparation of Test Specimens

6.1 Specimens shall be suitably cleaned. The cleaning method shall be optional depending on the nature of the surface and the contaminants. Care shall be taken that specimens are not recontaminated after cleaning by excessive or careless handling.

6.2 Specimens for the evaluation of paints and other organic coatings shall be prepared in accordance with applicable specification(s) for the material(s) being exposed, or as agreed upon between the purchaser and the supplier. Otherwise, the test specimens shall consist of steel meeting the requirements of Practice D 609 and shall be cleaned and prepared for coating in accordance with the applicable procedure of Practice D 609.

6.3 Specimens coated with paints or nonmetallic coatings shall not be cleaned or handled excessively prior to test.

6.4 Whenever it is desired to determine the development of corrosion from an abraded area in the paint or organic coating, a scratch or scribed line shall be made through the coating with a sharp instrument so as to expose the underlying metal before testing. The conditions of making the scratch shall be as defined in Test Method D 1654, unless otherwise agreed upon between the purchaser and the seller.

6.5 Unless otherwise specified, the cut edges of plated, coated, or duplex materials and areas containing identification marks or in contact with the racks or supports shall be protected with a suitable coating stable under the conditions of the practice.

NOTE 1—Should it be desirable to cut test specimens from parts or from preplated, painted, or otherwise coated steel sheet, the cut edges shall be protected by coating them with paint, wax, tape, or other effective media so that the development of a galvanic effect between such edges and the adjacent plated or otherwise coated metal surfaces, is prevented.

## 7. Position of Specimens During Exposure

7.1 The position of the specimens in the salt spray chamber during the test shall be such that the following conditions are met:

7.1.1 Unless otherwise specified, the specimens shall be supported or suspended between 15 and 30° from the vertical and preferably parallel to the principal direction of flow of fog through the chamber, based upon the dominant surface being tested.

7.1.2 The specimens shall not contact each other or any metallic material or any material capable of acting as a wick.

7.1.3 Each specimen shall be placed to permit unencumbered exposure to the fog.

7.1.4 Salt solution from one specimen shall not drip on any other specimen.

NOTE 2—Suitable materials for the construction or coating of racks and supports are glass, rubber, plastic, or suitably coated wood. Bare metal shall not be used. Specimens shall preferably be supported from the bottom or the side. Slotted wooden strips are suitable for the support of flat panels. Suspension from glass hooks or waxed string may be used as long as the specified position of the specimens is obtained, if necessary by means of secondary support at the bottom of the specimens.

## 8. Salt Solution

8.1 The salt solution shall be prepared by dissolving  $5 \pm 1$  parts by mass of sodium chloride in 95 parts of water conforming to Type IV water in Specification D 1193 (except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). Careful attention should be given to the chemical content of the salt. The salt used shall be sodium chloride with not more than 0.3 % by mass of total impurities. Halides (Bromide, Fluoride, and Iodide) other than Chloride shall constitute less than 0.1 % by mass of the salt content. Copper content shall be less than 0.3 ppm by mass. Sodium chloride containing anti-caking agents shall not be used because such agents may act as corrosion inhibitors. See Table 1 for a listing of these impurity restrictions. Upon agreement between the purchaser and the seller, analysis may be required and limits established for elements or compounds not specified in the chemical composition given above.

TABLE 1 Maximum Allowable Limits for Impurity Levels in Sodium Chloride<sup>A,B</sup>

Impurity Description	Allowable Amount
Total Impurities	≤ 0.3 %
Halides (Bromide, Fluoride and Iodide) excluding Chloride	≤ 0.1 %
Copper	< 0.3 ppm
Anti-caking Agents	0.0 %

<sup>A</sup> A common formula used to calculate the amount of salt required by mass to achieve a 5 % salt solution of a known mass of water is:

$.053 \times \text{Mass of Water} = \text{Mass of NaCl required}$

The mass of water is 1 g per 1 mL. To calculate the mass of salt required in grams to mix 1 L of a 5 % salt solution, multiply .053 by 1000 g (35.27 oz., the mass of 1 L of water). This formula yields a result of 53 g (1.87 oz.) of NaCl required for each liter of water to achieve a 5 % salt solution by mass.

The 0.053 multiplier for the sodium chloride used above is derived by the following:

1000 g (mass of a full L of water) divided by 0.95

(water is only 95 % of the total mixture by mass) yields 1053 g

This 1053 g is the total mass of the mixture of one L of water with a 5 % sodium chloride concentration. 1053 g minus the original weight of the L of water, 1000 g, yields 53 g for the weight of the sodium chloride. 53 g of total sodium chloride divided by the original 1000 g of water yields a 0.053 multiplier for the sodium chloride.

As an example: to mix the equivalent of 200 L (52.83 gal) of 5 % sodium chloride solution, mix 10.6 kg (23.37 lb) of sodium chloride into 200 L (52.83 gal) of water. 200 L of water weighs 200,000 g.  $200,000 \text{ g of water} \times .053 \text{ (sodium chloride multiplier)} = 10,600 \text{ g of sodium chloride, or } 10.6 \text{ kg}.$

<sup>B</sup> In order to ensure that the proper salt concentration was achieved when mixing the solution, it is recommended that the solution be checked with either a salimeter hydrometer or specific gravity hydrometer. When using a salimeter hydrometer, the measurement should be between 4 and 6 % at 25°C (77°F). When using a specific gravity hydrometer, the measurement should be between 1.0255 and 1.0400 at 25°C (77°F).



8.2 The pH of the salt solution shall be such that when atomized at 35°C (95°F) the collected solution will be in the pH range from 6.5 to 7.2 (Note 3). Before the solution is atomized it shall be free of suspended solids (Note 4). The pH measurement shall be made at 25°C (77°F) using a suitable glass pH-sensing electrode, reference electrode, and pH meter system in accordance with Test Method E 70.

NOTE 3—Temperature affects the pH of a salt solution prepared from water saturated with carbon dioxide at room temperature and pH adjustment may be made by the following three methods:

(1) When the pH of a salt solution is adjusted at room temperature, and atomized at 35°C (95°F), the pH of the collected solution will be higher than the original solution due to the loss of carbon dioxide at the higher temperature. When the pH of the salt solution is adjusted at room temperature, it is therefore necessary to adjust it below 6.5 so the collected solution after atomizing at 35°C (95°F) will meet the pH limits of 6.5 to 7.2. Take about a 50-mL sample of the salt solution as prepared at room temperature, boil gently for 30 s, cool, and determine the pH. When the pH of the salt solution is adjusted to 6.5 to 7.2 by this procedure, the pH of the atomized and collected solution at 35°C (95°F) will come within this range.

(2) Heating the salt solution to boiling and cooling to 35°C (95°F) and maintaining it at 35°C (95°F) for approximately 48 h before adjusting the pH produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35°C (95°F).

(3) Heating the water from which the salt solution is prepared to 35°C (95°F) or above, to expel carbon dioxide, and adjusting the pH of the salt solution within the limits of 6.5 to 7.2 produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35°C (95°F).

NOTE 4—The freshly prepared salt solution may be filtered or decanted before it is placed in the reservoir, or the end of the tube leading from the solution to the atomizer may be covered with a double layer of cheesecloth to prevent plugging of the nozzle.

NOTE 5—The pH can be adjusted by additions of dilute ACS reagent grade hydrochloric acid or sodium hydroxide solutions.

## 9. Air Supply

9.1 The compressed air supply to the Air Saturator Tower shall be free of grease, oil, and dirt before use by passing through well-maintained filters. (Note 6) This air should be maintained at a sufficient pressure at the base of the Air Saturator Tower to meet the suggested pressures of Table 2 at the top of the Air Saturator Tower.

NOTE 6—The air supply may be freed from oil and dirt by passing it through a suitable oil/water extractor (that is commercially available) to stop any oil from reaching the Air Saturator Tower. Many oil/water extractors have an expiration indicator, proper preventive maintenance intervals should take these into account.

9.2 The compressed air supply to the atomizer nozzle or nozzles shall be conditioned by introducing it into the bottom of a tower filled with water. A common method of introducing the air is through an air dispersion device (X1.4.1). The level of the water must be maintained automatically to ensure adequate humidification. It is common practice to maintain the temperature in this tower between 46 and 49°C (114–121°F) to offset the cooling effect of expansion to atmospheric pressure during the atomization process. Table 2 in 9.3 of this practice shows the temperature, at different pressures, that are commonly used to offset the cooling effect of expansion to atmospheric pressure.

9.3 Careful attention should be given to the relationship of tower temperature to pressure since this relationship can have

a direct impact to maintaining proper collection rates (Note 7). It is preferable to saturate the air at temperatures well above the chamber temperature as insurance of a wet fog as listed in Table 2.

TABLE 2 Suggested Temperature and Pressure guideline for the top of the Air Saturator Tower for the operation of a test at 35°C (95°F)

Air Pressure, kPa	Temperature, °C	Air Pressure, PSI	Temperature, °F
83	46	12	114
96	47	14	117
110	48	16	119
124	49	18	121

NOTE 7—If the tower is run outside of these suggested temperature and pressure ranges to achieve proper collection rates as described in 10.2 of this practice, other means of verifying the proper corrosion rate in the chamber should be investigated, such as the use of control specimens (panels of known performance in the test conducted). It is preferred that control panels be provided that bracket the expected test specimen performance. The controls allow for the normalization of test conditions during repeated running of the test and will also allow comparisons of test results from different repeats of the same test. (Refer to Appendix X3, Evaluation of Corrosive Conditions, for mass loss procedures).

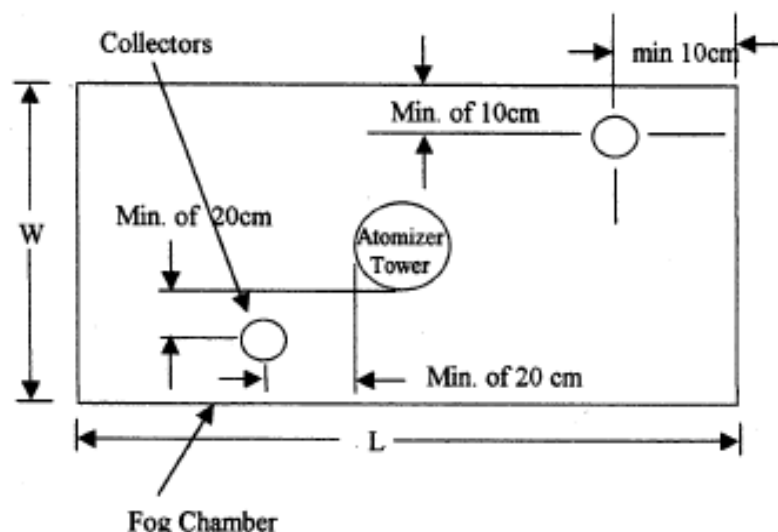
## 10. Conditions in the Salt Spray Chamber

10.1 *Temperature*—The exposure zone of the salt spray chamber shall be maintained at  $35 \pm 1.1 - 1.7^\circ\text{C}$  ( $95 \pm 2 - 3^\circ\text{F}$ ). Each set point and its tolerance represents an operational control point for equilibrium conditions at a single location in the cabinet which may not necessarily represent the uniformity of conditions throughout the cabinet. The temperature within the exposure zone of the closed cabinet shall be recorded (Note 8) at least twice a day at least 7 h apart (except on Saturdays, Sundays, and holidays when the salt spray test is not interrupted for exposing, rearranging, or removing test specimens or to check and replenish the solution in the reservoir).

NOTE 8—A suitable method to record the temperature is by a continuous recording device or by a thermometer which can be read from outside the closed cabinet. The recorded temperature must be obtained with the salt spray chamber closed to avoid a false low reading because of wet-bulb effect when the chamber is open.

10.2 *Atomization and Quantity of Fog*—Place at least two clean fog collectors per atomizer tower within the exposure zone so that no drops of solution will be collected from the test specimens or any other source. Position the collectors in the proximity of the test specimens, one nearest to any nozzle and the other farthest from all nozzles. A typical arrangement is shown in Fig. 1. The fog shall be such that for each 80 cm<sup>2</sup> (12.4 in.<sup>2</sup>) of horizontal collecting area, there will be collected from 1.0 to 2.0 mL of solution per hour based on an average run of at least 16 h (Note 9). The sodium chloride concentration of the collected solution shall be  $5 \pm 1$  mass % (Notes 9–11). The pH of the collected solution shall be 6.5 to 7.2. The pH measurement shall be made as described in 8.2 (Note 3).

NOTE 9—Suitable collecting devices are glass or plastic funnels with



NOTE—This figure shows a typical fog collector arrangement for a single atomizer tower cabinet. The same fog collector arrangement is also applicable for multiple atomizer tower and horizontal ("T" type) atomizer tower cabinet constructions as well.

FIG. 1 Arrangement of Fog Collectors

the stems inserted through stoppers into graduated cylinders, or crystallizing dishes. Funnels and dishes with a diameter of 10 cm (3.94 in.) have an area of about 80 cm<sup>2</sup> (12.4 in.<sup>2</sup>).

NOTE 10—A solution having a specific gravity of 1.0255 to 1.0400 at 25°C (77°F) will meet the concentration requirement. The sodium chloride concentration may also be determined using a suitable salinity meter (for example, utilizing a sodium ion-selective glass electrode) or colorimetrically as follows. Dilute 5 mL of the collected solution to 100 mL with distilled water and mix thoroughly; pipet a 10-mL aliquot into an evaporating dish or casserole; add 40 mL of distilled water and 1 mL of 1 % potassium chromate solution (chloride-free) and titrate with 0.1 N silver nitrate solution to the first appearance of a permanent red coloration. A solution that requires between 3.4 and 5.1 mL of 0.1 N silver nitrate solution will meet the concentration requirements.

NOTE 11—Salt solutions from 2 to 6 % will give the same results, though for uniformity the limits are set at 4 to 6 %.

10.3 The nozzle or nozzles shall be so directed or baffled that none of the spray can impinge directly on the test specimens.

## 11. Continuity of Exposure

11.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, the test shall be continuous for the duration of the entire test period. Continuous operation implies that the chamber be closed and the spray operating continuously except for the short daily interruptions necessary to inspect, rearrange, or remove test specimens, to check and replenish the solution in the reservoir, and to make necessary recordings as described in Section 10. Operations shall be so scheduled that these interruptions are held to a minimum.

## 12. Period of Exposure

12.1 The period of exposure shall be as designated by the specifications covering the material or product being tested or as mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 12—Recommended exposure periods are to be as agreed upon between the purchaser and the seller, but exposure periods of multiples of 24 h are suggested.

## 13. Cleaning of Tested Specimens

13.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, specimens shall be treated as follows at the end of the test:

13.1.1 The specimens shall be carefully removed.

13.2 Specimens may be gently washed or dipped in clean running water not warmer than 38°C (100°F) to remove salt deposits from their surface, and then immediately dried.

## 14. Evaluation of Results

14.1 A careful and immediate examination shall be made as required by the specifications covering the material or product being tested or by agreement between the purchaser and the seller.

## 15. Records and Reports

15.1 The following information shall be recorded, unless otherwise prescribed in the specifications covering the material or product being tested:

15.1.1 Type of salt and water used in preparing the salt solution,

15.1.2 All readings of temperature within the exposure zone of the chamber,

15.1.3 Daily records of data obtained from each fog-collecting device including the following:

15.1.3.1 Volume of salt solution collected in millilitres per hour per 80 cm<sup>2</sup> (12.4 in.<sup>2</sup>),

15.1.3.2 Concentration or specific gravity at 35°C (95°F) of solution collected, and

15.1.3.3 pH of collected solution.



- 15.2 Type of specimen and its dimensions, or number or description of part,
- 15.3 Method of cleaning specimens before and after testing,
- 15.4 Method of supporting or suspending article in the salt spray chamber,
- 15.5 Description of protection used as required in 6.5,
- 15.6 Exposure period,
- 15.7 Interruptions in exposure, cause, and length of time, and

- 15.8 Results of all inspections.

NOTE 13—If any of the atomized salt solution which has not contacted the test specimens is returned to the reservoir, it is advisable to record the concentration or specific gravity of this solution also.

## 16. Keywords

16.1 controlled corrosive environment; corrosive conditions; determining mass loss; salt spray (fog) exposure

## APPENDICES

### (Nonmandatory Information)

## XI. CONSTRUCTION OF APPARATUS

### XI.1 Cabinets

XI.1.1 Standard salt spray cabinets are available from several suppliers, but certain pertinent accessories are required before they will function according to this practice and provide consistent control for duplication of results.

XI.1.2 The salt spray cabinet consists of the basic chamber, an air-saturator tower, a salt solution reservoir, atomizing nozzles, specimen supports, provisions for heating the chamber, and suitable controls for maintaining the desired temperature.

XI.1.3 Accessories such as a suitable adjustable baffle or central fog tower, automatic level control for the salt reservoir, and automatic level control for the air-saturator tower are pertinent parts of the apparatus.

XI.1.4 The size and shape of the cabinet shall be such that the atomization and quantity of collected solution is within the limits of this practice.

XI.1.5 The chamber shall be made of suitably inert materials such as plastic, glass, or stone, or constructed of metal and lined with impervious plastics, rubber, or epoxy-type materials or equivalent.

XI.1.6 All piping that contacts the salt solution or spray should be of inert materials such as plastic. Vent piping should be of sufficient size so that a minimum of back pressure exists and should be installed so that no solution is trapped. The exposed end of the vent pipe should be shielded from extreme air currents that may cause fluctuation of pressure or vacuum in the cabinet.

### XI.2 Temperature Control

XI.2.1 The maintenance of temperature within the salt chamber can be accomplished by several methods. It is generally desirable to control the temperature of the surroundings of the salt spray chamber and to maintain it as stable as possible. This may be accomplished by placing the apparatus in a constant-temperature room, but may also be achieved by surrounding the basic chamber of a jacket containing water or air at a controlled temperature.

XI.2.2 The use of immersion heaters in an internal salt solution reservoir or within the chamber is detrimental where

heat losses are appreciable because of solution evaporation and radiant heat on the specimens.

### XI.3 Spray Nozzles

XI.3.1 Satisfactory nozzles may be made of hard rubber, plastic, or other inert materials. The most commonly used type is made of plastic. Nozzles calibrated for air consumption and solution-atomized are available. The operating characteristics of a typical nozzle are given in Table XI.1.

XI.3.2 It can readily be seen that air consumption is relatively stable at the pressures normally used, but a marked reduction in solution sprayed occurs if the level of the solution is allowed to drop appreciably during the test. Thus, the level of the solution in the salt reservoir must be maintained automatically to ensure uniform fog delivery during the test.<sup>8</sup>

XI.3.3 If the nozzle selected does not atomize the salt solution into uniform droplets, it will be necessary to direct the spray at a baffle or wall to pick up the larger drops and prevent them from impinging on the test specimens. Pending a complete understanding of air-pressure effects, and so forth, it is important that the nozzle selected shall produce the desired

<sup>8</sup> A suitable device for maintaining the level of liquid in either the saturator tower or reservoir of test solution may be designed by a local engineering group, or may be purchased from manufacturers of test cabinets as an accessory.

TABLE XI.1 Operating Characteristics of Typical Spray Nozzle

Siphon Height, cm	Air Flow, dm <sup>3</sup> /min				Solution Consumption, cm <sup>3</sup> /h			
	Air Pressure, kPa				Air Pressure, kPa			
	34	69	103	138	34	69	103	138
10	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
20	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
30	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
40	19	26.5	31.5	36	0	780	2124	2904

Siphon Height, in.	Air Flow, L/min				Solution Consumption, mL/h			
	Air Pressure, psi				Air Pressure, psi			
	5	10	15	20	5	10	15	20
4	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
8	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
12	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
16	19	26.5	31.5	36	0	780	2124	2904

condition when operated at the air pressure selected. Nozzles are not necessarily located at one end, but may be placed in the center and can also be directed vertically up through a suitable tower.

#### X1.4 Air for Atomization

X1.4.1 The air used for atomization must be free of grease, oil, and dirt before use by passing through well-maintained filters. Room air may be compressed, heated, humidified, and washed in a water-sealed rotary pump if the temperature of the water is suitably controlled. Otherwise cleaned air may be introduced into the bottom of a tower filled with water through a porous stone or multiple nozzles. The level of the water must be maintained automatically to ensure adequate humidification. A chamber operated in accordance with this method and Appendix X1 will have a relative humidity between 95 and 98 %. Since salt solutions from 2 to 6 % will give the same results (though for uniformity the limits are set at 4 to 6 %), it is preferable to saturate the air at temperatures well above the chamber temperature as insurance of a wet fog. Table X1.2 shows the temperatures, at different pressures, that are required to offset the cooling effect of expansion to atmospheric pressure.

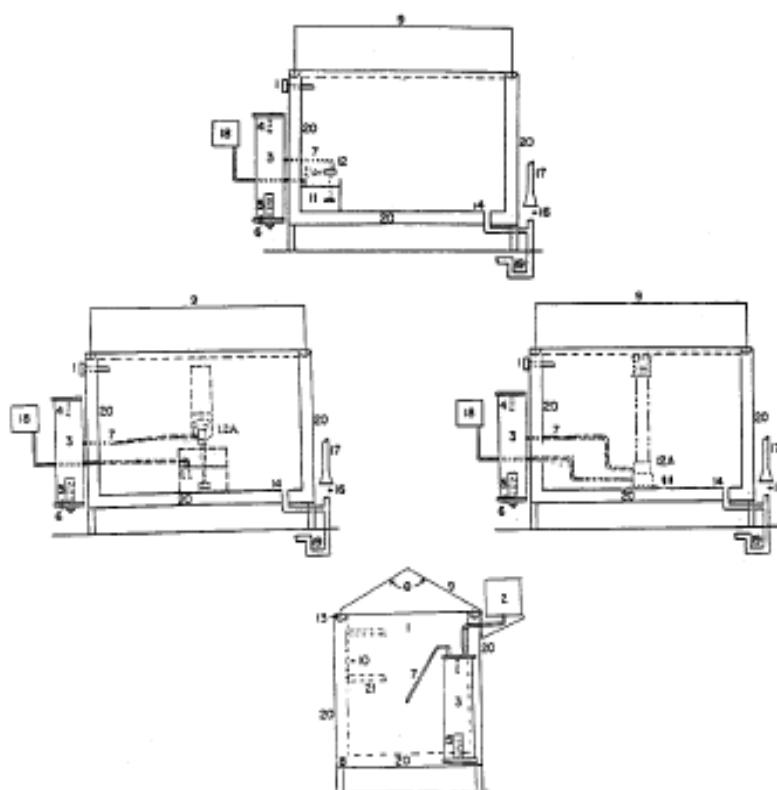
TABLE X1.2 Temperature and Pressure Requirements for Operation of Test at 95°F

	Air Pressure, kPa			
	83	96	110	124
Temperature, °C	46	47	48	49
	Air Pressure, psi			
	12	14	16	18
Temperature, °F	114	117	119	121

X1.4.2 Experience has shown that most uniform spray chamber atmospheres are obtained by increasing the atomizing air temperature sufficiently to offset heat losses, except those that can be replaced otherwise at very low-temperature gradients.

#### X1.5 Types of Construction

X1.5.1 A modern laboratory cabinet is shown in Fig. X1.1. Walk-in chambers are usually constructed with a sloping ceiling. Suitably located and directed spray nozzles avoid ceiling accumulation and drip. Nozzles may be located at the ceiling, or 0.91 m (3 ft) from the floor directed upward at 30 to 60° over a passageway. The number of nozzles depends on type and capacity and is related to the area of the test space. An 11 to 19 L (3 to 5-gal) reservoir is required within the chamber, with the level controlled. The major features of a walk-in type cabinet, which differs significantly from the laboratory type, are illustrated in Fig. X1.2. Construction of a plastic nozzle, such as is furnished by several suppliers, is shown in Fig. X1.3.



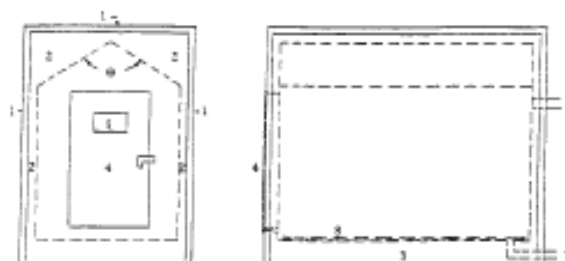
NOTE 1—0—Angle of lid, 90 to 125°

- 1—Thermometer and thermostat for controlling heater (Item No. 8) in base
- 2—Automatic water leveling device
- 3—Humidifying tower
- 4—Automatic temperature regulator for controlling heater (Item No. 5)
- 5—Immersion heater, nonrusting
- 6—Air inlet, multiple openings
- 7—Air tube to spray nozzle
- 8—Heater in base
- 9—Hinged top, hydraulically operated, or counterbalanced
- 10—Brackets for rods supporting specimens, or test table
- 11—Internal reservoir
- 12—Spray nozzle above reservoir, suitably designed, located, and baffled
- 12A—Spray nozzle housed in dispersion tower located preferably in center of cabinet (typical examples)
- 13—Water seal
- 14—Combination drain and exhaust. Exhaust at opposite side of test space from spray nozzle (Item 12), but preferably in combination with drain, waste trap, and forced draft waste pipe (Items 16, 17, and 19).
- 16—Complete separation between forced draft waste pipe (Item 17) and combination drain and exhaust (Items 14 and 19) to avoid undesirable suction or back pressure.
- 17—Forced draft waste pipe
- 18—Automatic leveling device for reservoir
- 19—Waste trap
- 20—Air space or water jacket
- 21—Test table or rack, well below roof area

NOTE 2—This figure shows the various components including alternate arrangements of the spray nozzles and solution reservoir.

FIG. X1.1 Typical Salt Spray Cabinet





Note—The controls are the same, in general as for the smaller laboratory type cabinet (Fig. X1.1), but are sized to care for the larger cube. The chamber has the following features:

- 0—Angle of ceiling, 90 to 125°
- 1—Heavy insulated outer panels
- 2—Air space
- 3—Low-watt density heaters, or steam coils
- 4—Single- or double-, full-opening door (refrigeration type), with inward sloping door sill
- 5—Viewing window/s
- 6—Inner chamber vent
- 7—Inner chamber drain
- 8—Duct boards on floor

FIG. X1.2 Walk-In Chamber, 1.5 by 2.4 m (5 by 8 ft) and Upward In Overall Size

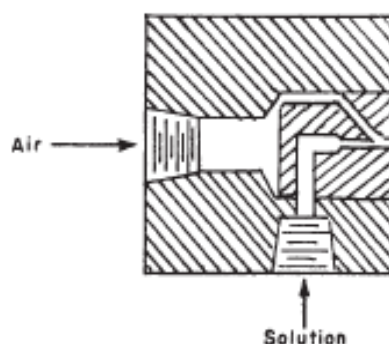


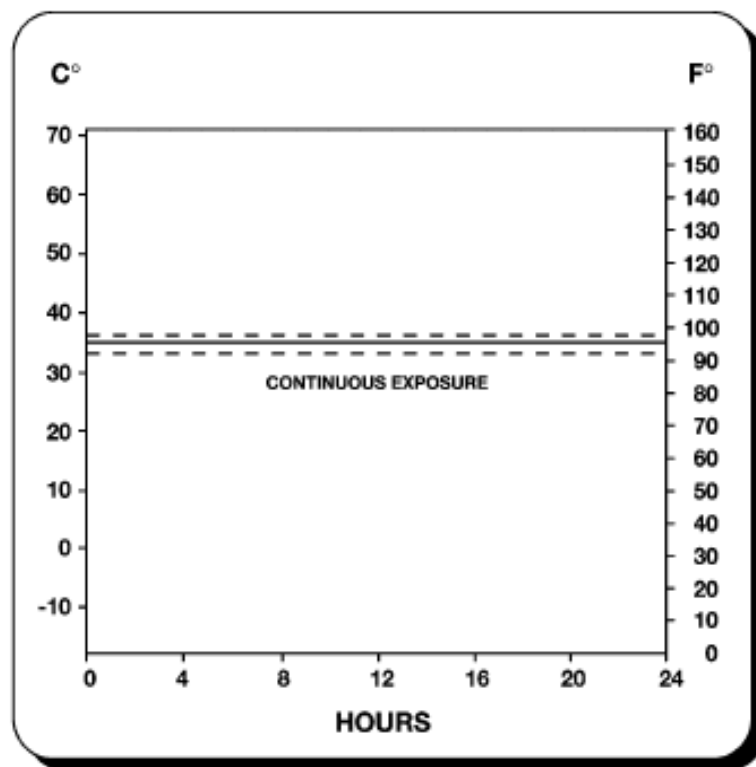
FIG. X1.3 Typical Spray Nozzle

## X2. USE OF THE SALT SPRAY (FOG) TEST IN RESEARCH

X2.1 This practice is primarily used for process qualification and quality acceptance. Regarding any new applications, it is essential to correlate the results of this practice with actual field exposure results. (See Fig. X2.1.)

X2.2 The salt spray has been used to a considerable extent for the purpose of comparing different materials or finishes. It should be noted there is usually not a direct relation between salt spray (fog) resistance and resistance to corrosion in other media, because the chemistry of the reactions, including the formation of films and their protective value, frequently varies greatly with the precise conditions encountered. Informed personnel are aware of the erratic composition of basic alloys, the possibility of wide variations in quality and thickness of plated items produced on the same racks at the same time, and the consequent need for a mathematical determination of the

number of specimens required to constitute an adequate sample for test purposes. In this connection it is well to point out that Practice B 117 is not applicable to the study or testing of decorative chromium plate (nickel-chromium) on steel or on zinc-base die castings or of cadmium plate on steel. For this purpose Method B 368 and Practice G 85 are available, which are also considered by some to be superior for comparison of chemically treated aluminum (chromated, phosphated, or anodized), although final conclusions regarding the validity of test results related to service experience have not been reached. Practice B 117 and Practice G 85 are considered to be most useful in estimating the relative behavior of closely related materials in marine atmospheres, since it simulates the basic conditions with some acceleration due to either wetness or temperature, or both.



- (1) Salt Solution:  $5 \pm 1$  parts by mass of sodium chloride (NaCl) in 95 parts by mass of Specification D 1193 Type IV water.  
 (2) pH 6.5 to 7.2 of collected solution.  
 (3) The exposure zone of the salt spray chamber shall be maintained at  $35 \pm 1.1 - 1.7^\circ\text{C}$  ( $95 \pm 2 - 3^\circ\text{F}$ ). Each set point and its tolerance represents an operational control point for equilibrium conditions at a single location in the cabinet which may not necessarily represent the uniformity of conditions throughout the cabinet.  
 (4) Fog at a rate of 1.0 to 2.0 mL/hr per 80 cm<sup>2</sup> of horizontal collection area.

Note: Dashed chart lines indicate temperature tolerance limits.  
 Note: Reprinted with permission.

FIG. X2.1 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus

### X3. EVALUATION OF CORROSIVE CONDITIONS

**X3.1 General**—This appendix covers test panels and procedures for evaluating the corrosive conditions within a salt spray cabinet. The procedure involves the exposure of steel test panels and the determination of their mass losses in a specified period of time. This may be done monthly or more frequently to ensure consistent operation over time. It is also useful for correlating the corrosive conditions among different cabinets.

**X3.2 Test Panels**—The required test panels, 76 by 127 by 0.8 mm (3.0 by 5.0 by .0315 in.), are made from SAE 1008 commercial-grade cold-rolled carbon steel (UNS G10080).

**X3.3 Preparation of Panels Before Testing**—Clean panels before testing by degreasing only, so that the surfaces are free of dirt, oil, or other foreign matter that could influence the test results. After cleaning, weigh each panel on an analytical balance to the nearest 1.0 mg and record the mass.

**X3.4 Positioning of Test Panels**—Place a minimum of two weighed panels in the cabinet, with the 127-mm (5.0 in.) length supported  $30^\circ$  from vertical. Place the panels in the proximity of the condensate collectors. (See Section 6.)

**X3.5 Duration of Test**—Expose panels to the salt fog for 40 to 168 h.

**X3.6 Cleaning of Test Panels After Exposure**—After removal of the panels from the cabinet, rinse each panel immediately with running tap water to remove salt, and rinse in reagent grade water (see Specification D 1193, Type IV). Chemically clean each panel for 10 min at 20 to 25°C in a fresh solution prepared as follows:

Mix 1000 mL of hydrochloric acid (sp gr 1.19) with 1000 mL reagent grade water (D 1193, Type IV) and add 10 g of hexamethylene tetramine. After cleaning, rinse each panel with reagent grade water (Type IV) and dry (see 13.2).

**X3.7 Determining Mass Loss**—Immediately after drying, determine the mass loss by reweighing and subtracting panel mass after exposure from its original mass.

**TABLE X3.1 Repeatability Statistics**

*NOTE*—Based on two replicates in every test run. No. = number of different salt spray cabinets in test program;  $r$  = 95 % repeatability limits, g;  $C_v$  =  $S_r$ /avg, coefficient of variation, %; and  $S_r$  = repeatability standard deviations, g.

Materials	Test Duration, h	Average Mass Loss, g	$S_r$ , g	$C_v$ , %	$r$ , g	No.
QP1	48	0.8170	0.0588	7.20	0.1646	12
QP1	96	1.5347	0.1048	7.28	0.2934	12
QP1	168	2.5996	0.2498	9.61	0.6994	12
AP	48	0.7787	0.0403	5.17	0.1128	10
AP	96	1.4094	0.0923	6.55	0.2584	10
AP	168	2.4309	0.1594	6.56	0.4463	10
QP2	48	0.8566	0.0686	8.01	0.1921	5
QP2	96	1.5720	0.0976	6.21	0.2733	5
QP2	168	2.7600	0.2588	9.38	0.7246	5

**TABLE X3.2 Reproducibility Statistics**

*NOTE*—No. = number of different salt spray cabinets in test program;  $R$  = 95 % reproducibility limits, g;  $C_v$  =  $S_R$ /avg, coefficient of variation, %; and  $S_R$  = reproducibility standard deviation, g.

Materials	Test Duration, h	Average Mass Loss, g	$S_R$ , g	$C_v$ , %	$R$ , g	No.
QP1	48	0.8170	0.0947	11.58	0.2652	12
QP1	96	1.5347	0.2019	14.02	0.5653	12
QP1	168	2.5996	0.3255	12.52	0.9114	12
AP	48	0.7787	0.0805	10.33	0.2254	10
AP	96	1.4094	0.1626	11.54	0.4553	10
AP	168	2.4309	0.3402	14.00	0.9526	10
QP2	48	0.8566	0.1529	17.85	0.4281	5
QP2	96	1.5720	0.1319	8.39	0.3693	5
QP2	168	2.7600	0.3873	14.03	1.0844	5

**X3.7.1** Data generated in the interlaboratory study using this method are available from ASTM as a Research Report.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Available from ASTM Headquarters. Request RR No. G1-1003.

### X3.8 Precision and Bias—Steel Panel Test:

**X3.8.1** An interlaboratory test program using three different sets of UNS G10080 steel panels, 76 by 127 by 0.8 mm (3.0 by 5.0 by .0315 in.) has shown that the repeatability of the mass loss of the steel panels, that is, the consistency in mass loss results that may be expected when replicate panels are run simultaneously in a salt spray cabinet, is dependent upon exposure time and the panel lot or source. The interlaboratory program yielded repeatability standard deviations,  $S_r$ , from which 95 % repeatability limits,  $r$ , were calculated as follows (see Practice E 691):

$$r = 2.8 S_r \quad (X3.1)$$

The values of  $S_r$  and  $r$  are reported in Table X3.1. Note that the corrosion rate of steel in this environment is approximately constant over the exposure interval and that the ratio of the standard deviation to the average mass loss, the coefficient of variation,  $C_v$ , varies between 5 and 10 % with a weighted average of 7.4 % and an  $r$  of  $\pm 21$  % of the average mass loss.

**X3.8.2** This interlaboratory program also produced results on the reproducibility of results, that is, the consistency of mass loss results in tests in different laboratories or in different cabinets in the same facility. This program yielded reproducibility standard deviations,  $S_R$ , from which 95 % reproducibility limits,  $R$ , were calculated as follows (See Practice E 691):

$$R = 2.8 S_R \quad (X3.2)$$

The values of  $S_R$  and  $R$  are reported in Table X3.2. Note that the ratio of standard deviation to the average mass loss, the coefficient of variation,  $C_v$ , varies between 8 to 18 % with a weighted average of 12.7 % and an  $R$  of  $\pm 36$  % of the average mass loss.

**X3.8.3** The mass loss of steel in this salt spray practice is dependent upon the area of steel exposed, the temperature, time of exposure, salt solution make up and purity, pH, spray conditions, and the metallurgy of the steel. The procedure in Appendix X3 for measuring the corrosivity of neutral salt spray cabinets with steel panels has no bias because the value of corrosivity of the salt spray is defined only in terms of this practice.

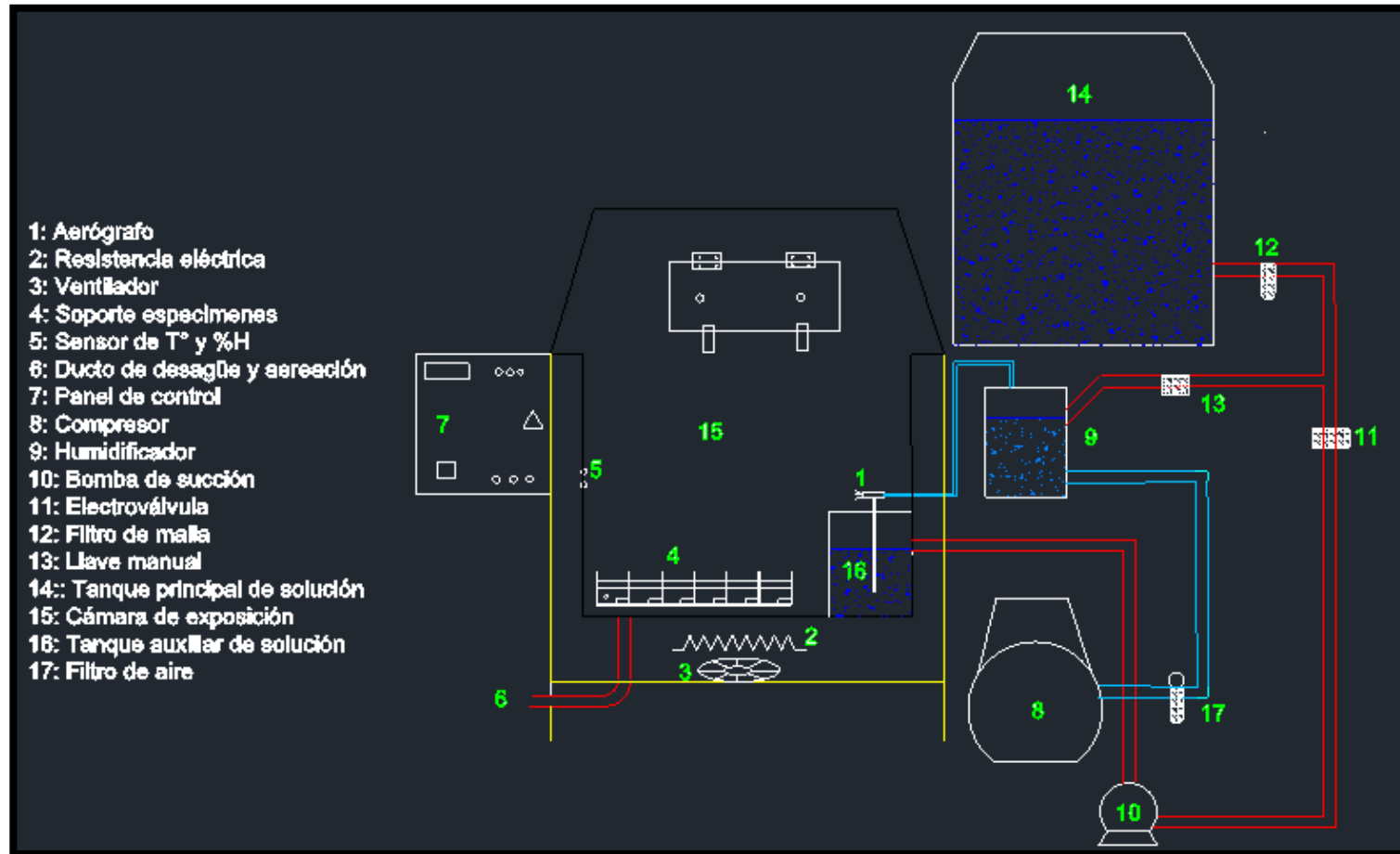
*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*


*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*

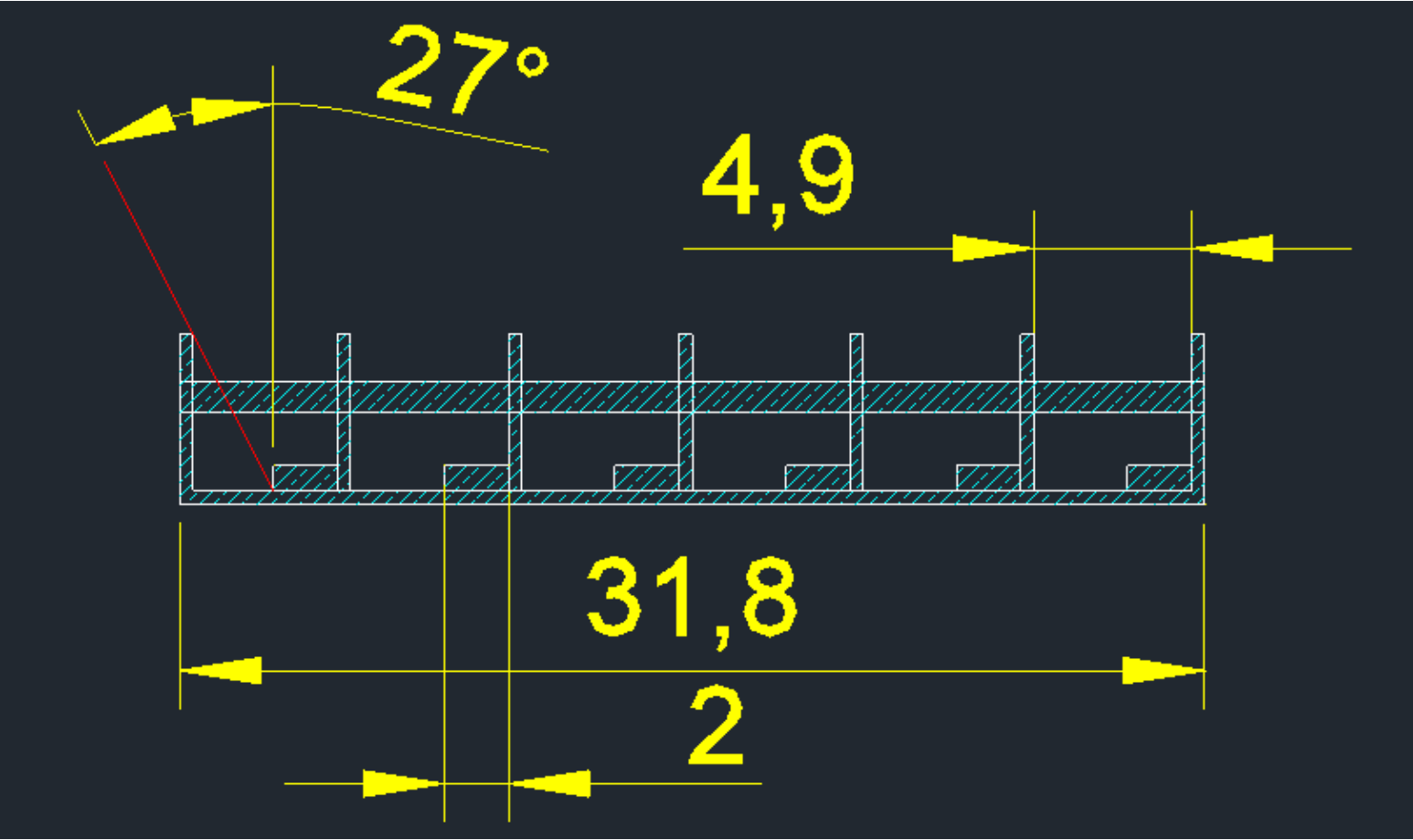
## ANEXO B


### ANEXO B-1. ESQUEMA GENERAL CÁMARA DE NIEBLA SALINA



	"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CAMARA DE NIEBLA SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE CORROSION PARA LA CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA DE LA ESPOCH"	
CONTIENE: CAMARA DE NIEBLA SALINA, ESQUEMA GENERAL		
ELABORADO POR: ELIZABETH CAROLINA SCHMIEDL BRICEÑO FREDDY JAVIER AUDELO GUEVARA	REVISADO POR: ING. MABEL PARADA ING. MARIO VILLACRÉS	
ESCALA: 1:300	FECHA: 16-01-2017	LAMINA: 01/04

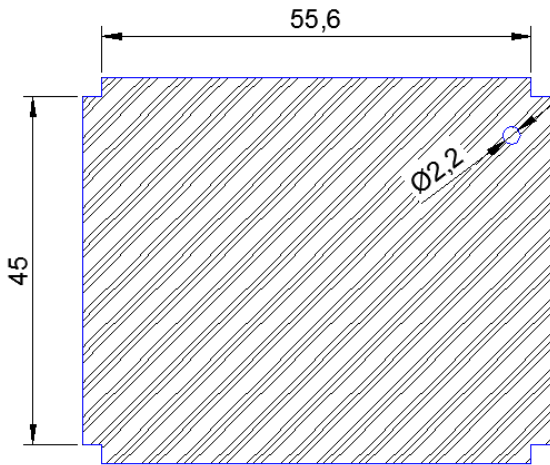
ANEXO B-2. SOPORTE DE ESPECÍMENES DE PRUEBA



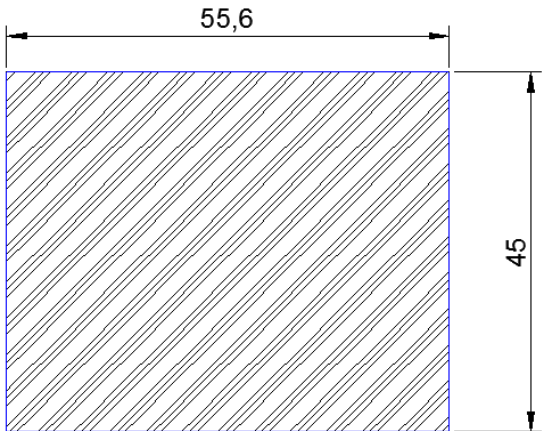
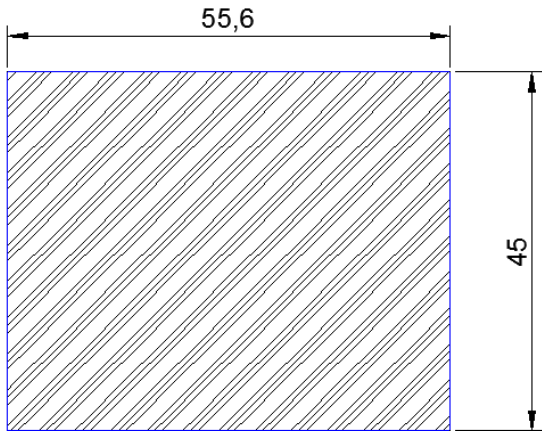
	<b>"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CAMARA DE NIEBLA SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE CORROSION PARA LA CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA DE LA ESPOCH"</b>		
CONTIENE: SOPORTE DE ESPECIMENES, ESQUEMA GENERAL			
ELABORADO POR: ELIZABETH CAROLINA SCHMIEDL BRICEÑO FREDDY JAVIER AUDELO GUEVARA		REVISADO POR: ING. MABEL PARADA ING. MARIO VILLACRÉS	
ESCALA: 1:300	FECHA: 16-01-2017	LAMINA: 02/04	



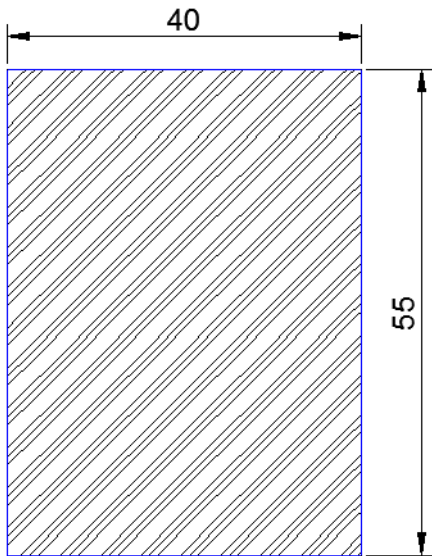
ANEXO B-3. CÁMARA DE EXPOSICIÓN



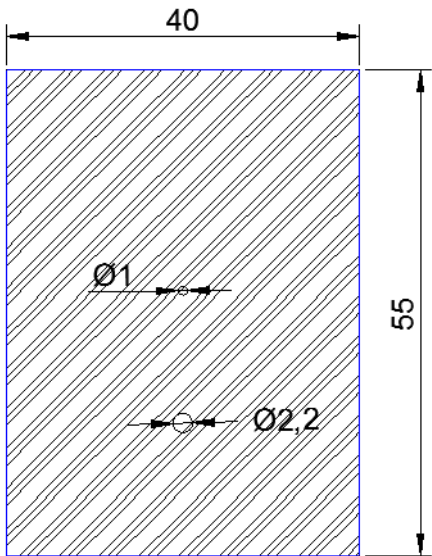
BASE DE CÁMARA




CARAS FRONTAL Y POSTERIOR DE CÁMARA



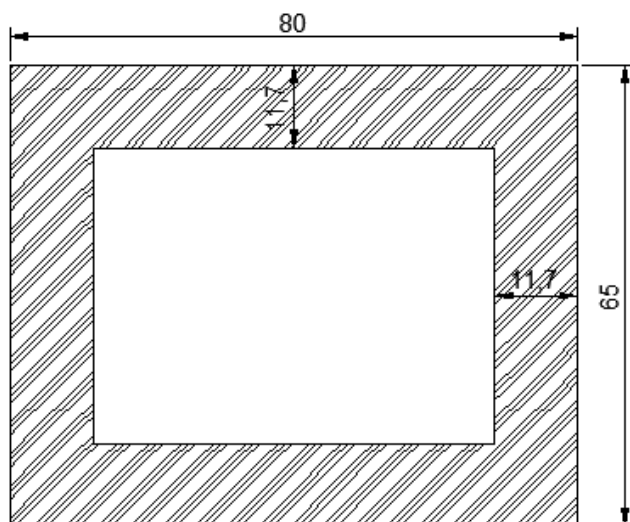
CARA LATERAL  
IZQUIERDA



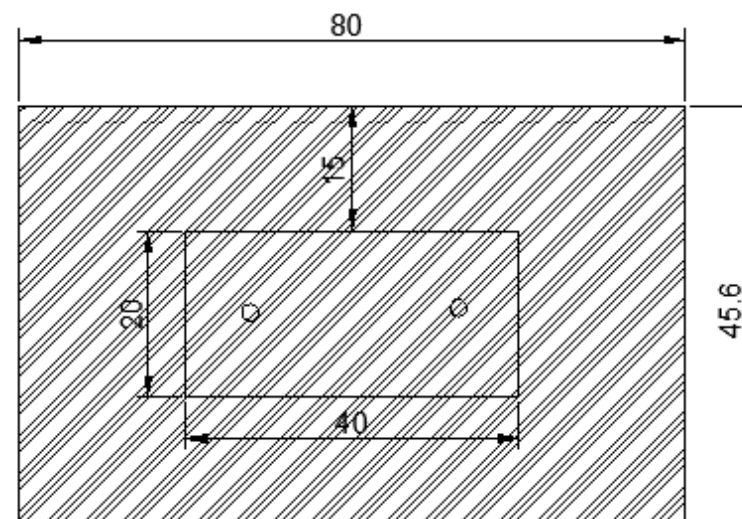
CARA LATERAL  
DERECHA

	<b>"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CAMARA DE NIEBLA SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE CORROSION PARA LA CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA DE LA ESPOCH"</b>		
CONTIENE: CARAS DE LA CAMARA DE EXPOSICION			
ELABORADO POR: ELIZABETH CAROLINA SCHMIEDL BRICEÑO FREDDY JAVIER AUDELO GUEVARA		REVISADO POR: ING. MABEL PARADA ING. MARIO VILLACRÉS	
ESCALA: 1:300	FECHA: 16-01-2017	LAMINA: 03/04	

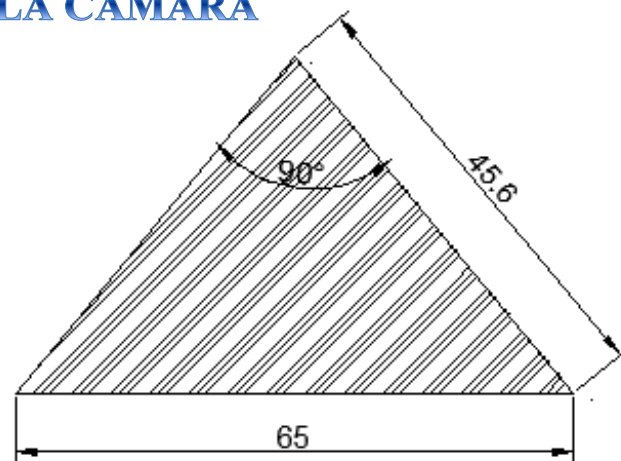
#### ANEXO B-4. TAPA DE LA CÁMARA DE EXPOSICIÓN




**BASE DE LA TAPA  
DE LA CÁMARA**



**ESQUEMA FRONTAL DE LA  
TAPA DE LA CÁMARA**



**VISTA LATERAL  
DE LA TAPA**

	<b>"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CAMARA DE NIEBLA SALINA MEDIANTE LA NORMA ASTM B-117 PARA ENSAYOS DE CORROSION PARA LA CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA DE LA ESPOCH"</b>		
<b>CONTIENE: TAPA DE LA CAMARA DE EXPOSICION, ESQUEMA GENERAL</b>			
<b>ELABORADO POR:</b> ELIZABETH CAROLINA SCHMEDL BRICENO FREDDY JAVIER AUDELO GUEVARA		<b>REVISADO POR:</b> ING. MABEL PARADA ING. MARIO VILLACRÉS	
<b>ESCALA: 1:300</b>	<b>FECHA: 16-01-2017</b>	<b>LAMINA: 04/04</b>	

## **ANEXO C. TÉCNICAS DE LABORATORIO**

### **TÉCNICA DE LABORATORIO N°1**

#### **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

#### **FACULTAD DE CIENCIAS**

#### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

#### **LABORATORIO DE CORROSIÓN**

**TEMA:** Determinación de corrosión por el método de pérdida de peso.

### **1. OBJETIVOS**

#### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el grado de corrosión de metales por medio del método de pérdida de peso utilizando una Cámara de Niebla Salina.

#### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Mínimo 3)**

### **2. FUNDAMENTO TEORICO**

### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1 MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **3.1.1 MATERIALES**

- Cámara de Niebla salina
- Muestras de diferentes metales (Cu, Zn, Acero, Al, etc.)
- Balanza
- Lija de metal
- Franela

##### **3.1.2 REACTIVOS**

- NaCl (sal común)



- Agua purificada
- Alcohol

### **3.2 PROCEDIMIENTO**

- Lijar las muestras para tener una superficie homogénea y luego limpiar con la franela empapada en alcohol.
- Preparar la solución de NaCl al 5 % en peso directamente en las botellas de agua purificada dependiendo de los días de prueba que se realizará, tomando en cuenta que por cada día se gastarán alrededor de 40 litros.
- Llenar el tanque principal de solución hasta la marca con cuidado.
- Colocar los especímenes de prueba cuidadosamente en el soporte dentro de la cámara de exposición y cerrarla totalmente.
- Verificar que la llave de salida del aire comprimido este cerrada para evitar que el agua del humidificador regrese al compresor.
- Llenar el tanque humidificador abriendo la llave de paso manualmente hasta la marca de 3 litros.
- Encender el compresor con la llave cerrada y dejar que cargue completamente.
- Encender la cámara de niebla salina presionando el switch ON del panel de control.
- Abrir conjuntamente las llaves de salida del aire comprimido.
- Configurar el rango de temperatura de 35°C, temperatura exigida por la norma ASTM B117 para generar un adecuado ambiente corrosivo.
- Asegurarse que no existen fugas de aire o solución en el quipo
- Realizar cada 20 horas aproximadamente una revisión general del nivel de agua del tanque principal y del equipo.
- Pasado el tiempo de prueba apagar el equipo presionando en swich en OFF.
- Cerrar las llaves de salida de aire comprimido.
- Sacar cuidadosamente las muestras del interior de la cámara de exposición.
- Vaciar la solución de los tanques y lavarlos.
- Lijar las muestras hasta eliminar todo el óxido depositado en las mismas.
- Pesar las muestras limpias y hacer los cálculos correspondientes.

### **4. DATOS EXPERIMENTALES**

**Tabla 4-1**

**Datos Experimentales para Determinación de Corrosión por Pérdida de Peso**

TEMPERATURA	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)

FUENTE: APELLIDO, Nombre. ESPOCH 2017

## 5. CALCULOS Y RESULTADOS

### 5.1 DATOS ADICIONALES

### 5.2 CALCULOS

#### 5.2.1 PREPARACION DE LA SOLUCION CORROSIVA

$$\% \frac{P}{V} = \frac{m \text{ soluto}}{V \text{ solución}} * 100$$

Dónde:

% P/V: Porcentaje de peso en volumen

M soluto: masa del soluto (g)

V solución: volumen de solución (ml)

#### 5.2.2 PORCENTAJE DE PERDIDA DE PESO

$$P \text{ perdido} = P \text{ inicial} - P \text{ final}$$

Dónde:

P perdido (g): Peso perdido por corrosión.

P inicial (g): Peso de la muestra antes de la prueba.

P final (g): Peso de la muestra al final de la prueba.

$$\% \text{ pérdida} = \frac{P \text{ perdido} * 100 \%}{P \text{ inicial}}$$

Dónde:

% Pérdida: porcentaje de material perdido durante la prueba.

P perdido: peso perdido en gramos de la muestra

P inicial: peso en gramos de la muestra antes de la prueba.

### **5.3 RESULTADOS**

### **5.4 OBSERVACIONES**

## **6. ERRORES**

### **6.1 ERRORES SISTEMATICOS**

### **6.2 ERRORES ALEATORIOS**

## **7. DISCUSION**

## **8. CONCLUSIONES**

## **9. APLICACIONES**

## **10. BIBLIOGRAFIA**

## **11. CUESTIONARIO**

## **12. ANEXOS**

## **RESUMEN**

## **DESCRIPTORES**

## **TÉCNICA DE LABORATORIO N°2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**LABORATORIO DE CORROSIÓN**

**TEMA:** Protección contra la corrosión.

### **1. OBJETIVOS**

#### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Comparar el grado de corrosión entre material protegido y un material sin proteger utilizando una Cámara de Niebla Salina.

#### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Mínimo 3)**

### **2. FUNDAMENTO TEORICO**

### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1 MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **3.1.1 MATERIALES**

- Cámara de Niebla salina
- Dos placas de acero dulce
- Lija de metal
- Franela
- Brocha

##### **3.1.2 REACTIVOS**

- NaCl (sal común)

- Agua purificada
- Alcohol
- Pintura anticorrosiva

### **3.2 PROCEDIMIENTO**

- Lijar las muestras para tener una superficie homogénea y luego limpiar con la franela empapada en alcohol.
- Pintar una de las muestras con pintura anticorrosiva y dejarla secar.
- Preparar la solución de NaCl al 5 % en peso directamente en las botellas de agua purificada dependiendo de los días de prueba que se realizará, tomando en cuenta que por cada día se gastarán alrededor de 40 litros.
- Verificar que la llave de salida del aire comprimido este cerrada para evitar que el agua del humidificador regrese al compresor.
- Llenar el tanque principal de solución hasta la marca con cuidado.
- Colocar los especímenes de prueba cuidadosamente en el soporte dentro de la cámara de exposición y cerrarla totalmente.
- Llenar el tanque humidificador abriendo la llave de paso manualmente hasta la marca de 5 litros.
- Encender el compresor con la llave cerrada y dejar que cargue completamente.
- Encender la cámara de niebla salina presionando el switch ON del panel de control.
- Abrir conjuntamente las llaves de salida del aire comprimido.
- Configurar el rango de temperatura de 35°C, temperatura exigida por la norma ASTM B117 para generar un adecuado ambiente corrosivo.
- Asegurarse que no existen fugas de aire o solución en el quipo
- Realizar cada 20 horas aproximadamente una revisión general del nivel de agua del tanque principal y del equipo.
- Pasado el tiempo de prueba apagar el equipo presionando en swich en OFF.
- Cerrar las llaves de salida de aire comprimido.
- Sacar cuidadosamente las muestras del interior de la cámara de exposición.
- Vaciar la solución de los tanques y lavarlos.
- Observar y comparar los resultados obtenidos entre las dos muestras.

### **4. DATOS EXPERIMENTALES**

### **5. CALCULOS Y RESULTADOS**

## **5.1 DATOS ADICIONALES**

## **5.2 CALCULOS**

### **5.2.1 PREPARACION DE LA SOLUCION CORROSIVA**

$$\% \frac{P}{V} = \frac{m \text{ soluto}}{V \text{ solución}} * 100$$

Dónde:

% P/V: Porcentaje de peso en volumen

M soluto: masa del soluto (g)

V solución: volumen de solución (ml)

## **5.3 RESULTADOS**

## **5.4 OBSERVACIONES**

## **6. ERRORES**

### **6.1 ERRORES SISTEMATICOS**

### **6.2 ERRORES ALEATORIOS**

## **7. DISCUSION**

## **8. CONCLUSIONES**

## **9. APLICACIONES**

## **10. BIBLIOGRAFIA**

## **11. CUESTIONARIO**

## **12. ANEXOS**

**RESUMEN**

**DESCRIPTORES**

## **TÉCNICA DE LABORATORIO N°3**

### **ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

#### **FACULTAD DE CIENCIAS**

#### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

#### **LABORATORIO DE CORROSIÓN**

**TEMA:** Influencia de la temperatura en la corrosión.

### **1. OBJETIVOS**

#### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Determinar el grado de corrosión de un metal por la influencia de la temperatura utilizando una Cámara de Niebla Salina.

#### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS (Mínimo 3)**

### **2. FUNDAMENTO TEORICO**

### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **3.1 MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **3.1.1 MATERIALES**

- Cámara de Niebla salina
- Dos placas de acero dulce
- Balanza
- Lija de metal
- Franela

##### **3.1.2 REACTIVOS**



- NaCl (sal común)
- Agua purificada
- Alcohol

### **3.2 PROCEDIMIENTO**

- Lijar las muestras para tener una superficie homogénea y luego limpiar con la franela empapada en alcohol.
- Preparar la solución de NaCl al 5 % en peso directamente en las botellas de agua purificada dependiendo de los días de prueba que se realizará, tomando en cuenta que por cada día se gastarán alrededor de 40 litros.
- Llenar el tanque principal de solución hasta la marca con cuidado.

#### **PARTE 1**

- Colocar solo una de las placas de acero dulce cuidadosamente en el soporte dentro de la cámara de exposición y cerrarla totalmente.
- Verificar que la llave de salida del aire comprimido este cerrada para evitar que el agua del humidificador regrese al compresor.
- Llenar el tanque humidificador abriendo la llave de paso manualmente hasta la marca de 3 litros.
- Encender el compresor con la llave cerrada y dejar que cargue completamente.
- Encender la cámara de niebla salina presionando el switch ON del panel de control.
- Abrir conjuntamente las llaves de salida del aire comprimido.
- Configurar el rango de temperatura de 22°C, temperatura ambiente.
- Asegurarse que no existen fugas de aire o solución en el quipo.
- Realizar cada 20 horas aproximadamente una revisión general del nivel de agua del tanque principal y del equipo.
- Pasado el tiempo de prueba apagar el equipo presionando en switch en OFF.
- Cerrar las llaves de salida de aire comprimido.
- Sacar cuidadosamente la muestra del interior de la cámara de exposición.

#### **PARTE 2**

- Colocar la otra placa de acero dulce cuidadosamente en el soporte dentro de la cámara de exposición y cerrarla totalmente.
- Verificar que la llave de salida del aire comprimido este cerrada para evitar que el agua del humidificador regrese al compresor.
- Llenar el tanque humidificador abriendo la llave de paso manualmente hasta la marca de 3 litros.
- Encender el compresor con la llave cerrada y dejar que cargue completamente.
- Encender la cámara de niebla salina presionando el switch ON del panel de control.
- Abrir conjuntamente las llaves de salida del aire comprimido.
- Configurar el rango de temperatura de 35°C, temperatura exigida por la norma ASTM B117 para generar un adecuado ambiente corrosivo.
- Asegurarse que no existen fugas de aire o solución en el quipo.
- Realizar cada 20 horas aproximadamente una revisión general del nivel de agua del tanque principal y del equipo.
- Pasado el tiempo de prueba apagar el equipo presionando en swich en OFF.
- Cerrar las llaves de salida de aire comprimido.
- Sacar cuidadosamente la muestra del interior de la cámara de exposición.
- Vaciar la solución de los tanques y lavarlos.
- Lijar las muestras hasta eliminar todo el óxido depositado en las mismas.
- Pesar las muestras limpias y hacer los cálculos correspondientes.

#### 4. DATOS EXPERIMENTALES

**Tabla 4-1**

**Datos Experimentales para Determinación de Corrosión por Pérdida de Peso**

TEMPERATURA	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)
TEMPERATURA	MUESTRA	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)

FUENTE: APELLIDO, Nombre. ESPOCH 2017

#### 5. CALCULOS Y RESULTADOS

## 5.1 DATOS ADICIONALES

## 5.2 CALCULOS

### 5.2.1 PREPARACION DE LA SOLUCION CORROSIVA

$$\% \frac{P}{V} = \frac{m \text{ soluto}}{V \text{ solución}} * 100$$

Dónde:

% P/V: Porcentaje de peso en volumen

M soluto: masa del soluto (g)

V solución: volumen de solución (ml)

### 5.2.2 PORCENTAJE DE PERDIDA DE PESO

$$P \text{ perdido} = P \text{ inicial} - P \text{ final}$$

Dónde:

P perdido (g): Peso perdido por corrosión.

P inicial (g): Peso de la muestra antes de la prueba.

P final (g): Peso de la muestra al final de la prueba.

$$\% \text{ pérdida} = \frac{P \text{ perdido} * 100 \%}{P \text{ inicial}}$$

Dónde:

% Pérdida: porcentaje de material perdido durante la prueba.

P perdido: peso perdido en gramos de la muestra

P inicial: peso en gramos de la muestra antes de la prueba.

## 5.3 RESULTADOS

## 5.4 OBSERVACIONES

## 6. ERRORES

## **6.1 ERRORES SISTEMATICOS**

## **6.2 ERRORES ALEATORIOS**

## **7. DISCUSION**

## **8. CONCLUSIONES**

## **9. APLICACIONES**

## **10. BIBLIOGRAFIA**

## **11. CUESTIONARIO**

## **12. ANEXOS**

## **RESUMEN**

## **DESCRIPTORES**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

**MANUAL:**  
**CÁMARA DE NIEBLA SALINA**

**AUTORES:**  
**ELIZABETH CAROLINA SCHMIEDL BRICEÑO**  
**FREDDY JAVIER AUDELO GUEVARA**

Riobamba-Ecuador

2017

## TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO	Pp.
<b>1 OBJETO:</b> .....	<b>1</b>
<b>2 ALCANCE:</b> .....	<b>1</b>
<b>3 REFERENCIAS:</b> .....	<b>1</b>
<b>4 DEFINICIONES:</b> .....	<b>1</b>
4.1 Corrosión.....	1
4.2 Tipos de corrosión.....	1
4.3 Ensayos de corrosión.....	3
4.4 Determinación del grado de corrosión por medio del método de pérdida de peso .....	4
4.5 Norma ASTM B-117 “Salt Spray Test.....	4
<b>5 RESPONSABILIDADES:</b> .....	<b>4</b>
<b>6 DESARROLLO:</b> .....	<b>4</b>
6.1 Preparación de la solución corrosiva.....	4
6.2 Preparación de las muestras .....	6
6.3 Procedimiento de manejo de la Cámara de Niebla Salina.....	6
<b>7 REGISTROS Y ARCHIVOS:</b> .....	<b>7</b>

**OBJETO:**

Registro del equipo CÁMARA DE NIEBLA SALINA existente en el Laboratorio de Físico Química de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para ensayos acelerados de corrosión.

**ALCANCE:**

Este procedimiento se empleará en el Laboratorio de Físico Química de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, para el registro, mantenimiento del equipo y la realización de prácticas estudiantiles.

**REFERENCIAS:**

- Norma ASTM B-117
- Manual de Operación de Laboratorio de Físico Química de la ESPOCH.

**DEFINICIONES:****3.7 Corrosión**

Según Otero la corrosión puede definirse como: “la reacción química o electroquímica de un metal o aleación con su medio circundante con el consiguiente deterioro de sus propiedades.”

La corrosión en la industria posee un impacto muy grande en el sentido económico, ya que genera pérdidas directas e indirectas. Las pérdidas directas se refieren a los costos por cambios de estructuras, maquinas, equipos o componentes de un proceso que puedan quedar inservibles a causa de este fenómeno. En cambio las perdidas indirectas son las que tienen que ver con la parada de la producción, contaminación de los productos, reducción notable de la eficiencia, por sobredimensionamiento (reactores químicos) y por accidentes derivados de la corrosión, como la muerte de un operario.

**3.8 Tipos de corrosión**

De los diferentes tipos de corrosión que existen, se debe poner atención en dos tipos específicos que son los que pueden ocurrir al exponer un material dentro de la cámara de niebla salina dándose el desgaste total o parcial que disuelve o ablanda cualquier sustancia por reacción química o electroquímica con el medio ambiente:

**c) Corrosión Química**

La corrosión química o directa, se da cuando un material es expuesto o sumergido directamente en líquido corrosivo, se disuelve y se seguirá disolviendo hasta que se consuma totalmente al metal o se sature el líquido.

Las aleaciones base cobre desarrollan un barniz verde a causa de la formación de carbonato e hidróxidos de cobre, esta es la razón por la cual la Estatua de la Libertad se ve con ese color verdusco. (OTERO HUERTA, 2012. Pág 34)

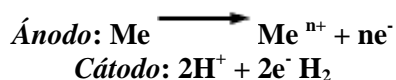
#### **d) Corrosión electroquímica**

Este tipo de corrosión es la más frecuente y comprende la corrosión atmosférica en aire húmedo, la producida en suelos, la provocada por medios electrolíticos (agua de mar, soluciones acidas, sales y alcalinas) y por sales fundidas. A diferencia de la corrosión química esta se da por una diferencia de potencial en los metales.

Este fenómeno ocurre, si y solo si, se tiene un electrolito, un ánodo y un cátodo. Una reacción de oxidación es una reacción anódica, es decir, el ánodo libera electrones y se dirigen al cátodo, ocasionando que el primero pierda electrones y por lo tanto se corroa y el segundo presente una ganancia de electrones y en su defecto se proteja. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción química, la velocidad a la que el material se corroa dependerá del medio que lo rodee, parámetros como la temperatura, salinidad del electrolito y propiedades químicas de los materiales son de vital importancia a la hora de analizar fenómenos de corrosión.

La corrosión de naturaleza electroquímica resulta de la formación sobre la superficie metálica de multitud de zonas anódicas y catódicas; el electrolito es, en caso de no estar sumergido o enterrado el metal, el agua condensada de la atmósfera, para lo que la humedad relativa deberá ser del 70%. (OTERO HUERTA, 2012. págs. 35-38)

Las reacciones que tienen lugar en las zonas anódicas y catódicas son las siguientes:



Además de estos tipos de corrosión, según Fontana M. la corrosión puede darse en ocho diferentes formas, de las cuales se hará una breve descripción a continuación: (FONTANA MARS, 1978 págs. 215-322)

Además de estos según Fontana M. La corrosión puede darse en ocho diferentes formas, de las cuales se hará una breve descripción a continuación:

#### **i) Corrosión uniforme**

La corrosión Uniforme es un fenómeno que se presenta de manera igualitaria sobre toda la superficie corroída, siendo aproximadamente igual la penetración en todos los puntos de la pieza,



siendo fácilmente la estimación de vida útil de este metal ya que se presenta una relación directa entre la pérdida del material, reducción de espesor y la gravedad del fenómeno.

**j) Corrosión galvánica.**

Este tipo de corrosión es el más común dentro de los tipos de corrosión y se produce cuando dos metales distintos se unen de forma eléctrica en presencia de un electrolito, causando el desprendimiento de electrones de la superficie del metal que actúa como polo negativo de la pila.

**k) Corrosión en espacios confinados**

La corrosión en resquicio se produce generalmente en uniones, zonas de solapes, intersticios, zonas roscadas, etc. Este tipo de ataque se debe a la formación de pilas de aireación diferencial, producidas a causa de diferentes presiones parciales de oxígeno en algunas partes de la pieza, siendo así el ataque en las zonas menos aireadas.

**l) Corrosión por picaduras**

La corrosión por picadura se da por la localización puntual del daño en el metal, su tamaño no suele superar los 2 mm<sup>2</sup> de diámetro, pero penetra hasta el fondo del metal formando túneles con mucha rapidez.

**m) Corrosión Intergranular**

Este tipo de corrosión se produce específicamente en los límites del grano del metal, lo que ocasiona una pérdida de coherencia entre granos y por ende la disminución de las propiedades mecánicas del metal.

**n) Corrosión por lavado selectivo**

La corrosión por lavado selectivo actúa principalmente dañando a los metales nobles como oro-cobre plata-cobre, forma una capa parecida al metal en los lugares afectados haciendo así que la detección de la corrosión sea muy difícil.

**o) Corrosión por erosión**

La corrosión por erosión se da cuando el agente corrosivo acelera su forma de atacar al metal por causa de un movimiento mecánico en la pieza afectada.

**p) Corrosión bajo esfuerzos**

Mayormente producida en aleaciones; ya que es muy raro que ocurra en metales puros, al ser sometidas a tensiones mecánicas junto a un ambiente altamente corrosivo. Se presenta como fisuras que siguen a la línea natural de la tensión aplicada, desplazándose muchas veces a través del grano del metal.

### **3.9 Ensayos de corrosión**

El conocer la durabilidad y resistencia de un material frente al fenómeno de corrosión es vital para el diseño de un sistema o equipo, y por esta razón se implementan ensayos controlados de corrosión de acuerdo al ambiente al que se va a exponer el material, puesto en condiciones

controladas y repetitivas. Y la obtención de resultados de estos ensayos son más demoradas y poco controladas, por lo que son los menos usados.

Para realizar estos ensayos de prueba, se puede realizar de manera natural o a escala de laboratorio, siendo los primeros una manera más directa de exponer el metal a las condiciones reales que va a soportar durante su vida útil, en cambio los ensayos realizados en laboratorios, son más controlados de acuerdo a la función que se le va a dar dentro del proceso u operación y a nuestra conveniencia.

### **3.10 Determinación del grado de corrosión por medio del método de pérdida de peso**

Este es un método sencillo de determinar la afectación del metal por la corrosión, para ello se necesita saber la longitud de las probetas y la variación de peso de la misma luego del proceso corrosivo. Para tener resultados más exactos existen métodos para la remoción de la capa de óxido depositada en la superficie del metal:

- **Limpieza manual:** esta se realiza con un paño empapado de algún solvente y con ayuda de alguna escobilla o lija adecuada a la cantidad de óxido en la superficie.
- **Decapado mecánico:** para este método se emplea un chorro de arena de cuarzo, mediante granalla u otro parecido.
- **Decapado químico:** se utilizan químicos como el ácido clorhídrico, para remover las impurezas y el óxido contenido en el material de prueba.

### **3.11 Norma ASTM B-117 “Salt Spray Test**

La Norma ASTM B-117 especifica el procedimiento y las condiciones adecuadas para crear y mantener correctamente un ambiente de niebla salina, aun así no describe el tipo de muestra, periodos de exposición a darle a la pieza y tampoco la interpretación de los resultados obtenidos al final de la prueba.

#### **RESPONSABILIDADES:**

El Encargado, Técnico Docente y Asistente de Cátedra del laboratorio son los responsables de:

- Planificar las prácticas de laboratorio de acuerdo a las carreras y materias.
- Efectuar una correcta gestión de los recursos, superando oportunamente los problemas que pueda enfrentar en el Laboratorio de Físico Química.

#### **DESARROLLO:**

### **3.12 Preparación de la solución corrosiva**

La solución corrosiva que nos indica la norma para generar la niebla es una solución del 3-5% en peso de NaCl. Ya que este equipo está diseñado para pruebas de cortas de 3 días se trabajará

con una solución al 5% en peso de NaCl, para poder evidenciar una aceleración de corrosión en las muestras.

Como se especificó anteriormente la cantidad de solución a utilizarse por día es de 36.58 litros, por lo tanto para un volumen de 40 litros que lleva el tanque principal:

$$\% \frac{P}{V} = \frac{m \text{ soluto}}{V \text{ solución}} * 100$$

Dónde:

% P/V: Porcentaje de peso en volumen

M soluto: masa del soluto (g)

V solución: volumen de solución (ml)

$$40 \text{ L} * \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ L}} = 40\,000 \text{ ml}$$

$$5\% = \frac{m \text{ soluto}}{40\,000 \text{ ml}} * 100$$

$$m \text{ soluto} = \frac{5\% (40\,000 \text{ ml})}{100}$$

$$m \text{ soluto} = 2000 \text{ g de soluto}$$

$$2000 \text{ g de soluto} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 2 \text{ Kg}$$

Entonces para el tanque principal se debe adicionar 2 Kg de NaCl en 40 Litros de agua para preparar la solución al 5 % en peso para el funcionamiento de cada día que se pondrá en funcionamiento el equipo.

El agua utilizada para la preparación de la solución según la norma debe cumplir con requerimientos básicos como que sea agua des ionizada con menos de 200 ppm (partes por millón) de solidos totales presentes, así que el agua destilada puede ser utilizada, así como el agua purificada. El NaCl debe tener no más de 0,3% de masa de impurezas totales y no más de 0,1% de yodo. La sal de consumo humano cuenta con estos parámetros así que se puede utilizar sin problema.

### **3.13 Preparación de las muestras**

La norma en la que se basa este proyecto no especifica la forma o el tamaño de los especímenes de prueba. Las muestras, sean en el formato que sean (varillas o placas), deben ser previamente preparadas para que los resultados obtenidos al final de cada prueba sean más claros. Para esto se recurren, a tratamientos químicos, con lija o una escobilla fuerte.

La preparación previa se realiza con el fin de tener una superficie igual en cualquier punto y así evitar la corrosión localizada en las muestras a ensayar. Debe tomarse en cuenta el método adecuado para preparar la superficie de las muestras a utilizar, pero por mayor facilidad y costo se puede aplicar la lija.

1. Lijar la pieza hasta dejar libre de impurezas y óxido
2. Limpiar con una franela empapada de alcohol
3. Ingresar la pieza en la cámara de niebla salina con cuidado

### **3.14 Procedimiento de manejo de la Cámara de Niebla Salina**

19. Primeramente es necesario preparar la solución correctamente como se explicó anteriormente con el volumen adecuado para cada día de prueba y llenarlo en el tanque principal de solución, hasta la marca con cuidado, de donde se abastecerá a los demás tanques para llevar a cabo la prueba.
20. Verificar que la llave de salida del aire comprimido esté cerrada para evitar que el agua del humidificador regrese al compresor.
21. Luego debe abrirse la llave de bolas para llenarse el tanque humidificador hasta la marca de 3 litros, suficiente para la función de humedecer el aire comprimido. Cerrar nuevamente al llegar al volumen indicado.
22. Se debe colocar dentro de la cámara de exposición (soporte), las muestras previamente preparadas y pesadas, para el registro de resultados.
23. Cerrar los broches de la puerta de la cámara para ayudar a la hermeticidad.
24. Conectar el enchufe al toma corriente de electricidad de 110 V del equipo y del compresor.
- 25.** Encender el compresor con la llave cerrada y dejar que cargue completamente.
26. Para encender el equipo se debe presionar el switch ON, esto provocará que se ponga en funcionamiento simultáneamente el ventilador, resistencia eléctrica, bomba y dé paso al llenado del tanque auxiliar donde abastecerá la solución para la generación de la niebla salina.
- 27.** Abrir conjuntamente las llaves de salida del aire comprimido.
28. Luego en el panel de control se debe programar el rango de temperatura (Temperatura mayor y temperatura menor) con el que se desee trabajar durante la prueba.
29. Asegurarse en el manómetro del compresor que la presión de salida del mismo es la correcta.

30. Cada 24 horas se debe volver a llenar el tanque de solución principal para que se abastezca la solución de manera continua. El nivel de agua de este tanque aparece de manera continua en la pantalla del panel de control y se encenderá un foco led de color rojo cuando el nivel de agua sea muy bajo.
31. Para apagar la cámara de niebla salina, al final de la prueba, se debe presionar el switch OFF.
32. Se debe cerrar las llaves de salida de aire comprimido y apagarlo para evitar que la solución regrese al compresor.
33. Se debe vaciar los tanques por medio de las llaves de agua con mucho cuidado, para evitar accidentes por la conducción eléctrica del agua con NaCl.
34. Sacar las muestras con mucho cuidado para valorar visualmente y por medio del método de pérdida de peso.
35. Lavar la cámara de exposición con abundante agua, la cual se evacuará por el desagüe instalado en la base de la cámara.
36. Desconectar del toma corriente.
  - 1) Limpiar la cámara de trituración.

#### **REGISTROS Y ARCHIVOS:**

- Ficha del equipo código FC-LFQ.PIN-01